



Maria de Lurdes **Contributo para a Gestão da Qualidade do Ar em**
Marques Figueiredo **Estarreja**



**Maria de Lurdes
Marques Figueiredo** **Contributo para a Gestão da Qualidade do Ar em
Estarreja**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Myriam Lopes, Professora Auxiliar, e da Doutora Maria Alexandra Monteiro, Professora Auxiliar convidada, do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro do Painel Consultivo
Comunitário do Programa Actuação
Responsável de Estarreja (PACOPAR)

Este trabalho é financiado por Fundos
FEDER através do Programa
Operacional Factores de Competitividade
(COMPETE) e por Fundos
Nacionais através da FCT no
âmbito do projecto INSPIRAR
(PTDC/AAC-AMB/103895/2008)

Dedico este trabalho à minha filha Margarida.

O júri

Presidente

Prof. Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Paulo Gabriel Fernandes de Pinho

Equiparado a Professor Adjunto do Departamento de Ambiente da Escola Superior de Tecnologia de Viseu.

Prof. Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes

Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Alexandra Castelo Sobral Monteiro

Professora auxiliar convidada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Este espaço e estas linhas são apenas uma pequena expressão de reconhecimento pelo fundamental contributo que me foi dado por todas estas pessoas e sem as quais, de forma inequívoca, seria impossível a materialização desta tese.

À Prof. Doutora Myriam Lopes, orientadora desta tese, quero endereçar o meu enorme agradecimento pela orientação científica e condução global desta dissertação que, de forma primordial, foram a sua base.

Agradeço à Prof. Doutora Alexandra Monteiro, pela sempre zelosa e disponível co-orientação de que beneficiei, pelo apoio prestado em termos técnicos e metodológicos e pelos seus pertinentes e valiosos comentários que estruturaram este trabalho.

A todos os que, ainda que da forma mais subtil, indelével e anónima, deram algum contributo para o resultado final desta dissertação, o meu muito obrigada.

Finalmente, à minha família, a quem privei de todo o tempo dedicado a esta dissertação, agradeço todo o apoio e compreensão.

Palavras-chave

Gestão da qualidade do ar, modelo *Hysplit*, Estarreja, emissões atmosféricas

Resumo

O crescimento acentuado da actividade industrial, em conjunto com o aumento da população e do tráfego nos centros urbanos, que se tem verificado nas últimas décadas, tem contribuído para a deterioração da qualidade do ar, particularmente das áreas urbanas com algum peso industrial. Estarreja é um caso de estudo interessante, devido à proximidade do complexo químico (CQE), que influenciou durante décadas, juntamente com outras fontes, a qualidade do ar da região.

A presente dissertação teve como principal objectivo avaliar a evolução histórica da qualidade do ar em Estarreja, reportando o estudo ao período entre os anos 2000 e 2009 e contribuindo, desta forma, para a gestão da qualidade do ar na região, através da sugestão de medidas minimizadoras dos impactos da poluição atmosférica. Para a realização deste trabalho foram recolhidos vários dados validados, disponibilizados pela Internet, das concentrações registadas nas estações de qualidade do ar localizadas no concelho de Estarreja. Estes dados foram sistematizados e tratados de forma a perceberem-se a evolução da tendência geral dos poluentes com legislação definida para a protecção da saúde – dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de azoto (NO_2), ozono (O_3) e partículas (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$). Os dados foram comparados com os parâmetros definidos na legislação actualmente em vigor (Decreto-Lei n.º 102/2010), de forma a identificar os episódios de poluição atmosférica com interesse num estudo mais detalhado. Concluída a análise da possível proveniência dos poluentes responsáveis pelos episódios seleccionados, usando metodologias já testadas que incluíram análise dos dados meteorológicos e de qualidade do ar observados e modelação de retrotrajectórias, foram sugeridas medidas para melhoria da gestão da qualidade do ar nesta zona de estudo.

A avaliação realizada permitiu verificar que o NO_2 , SO_2 e PM_{10} apresentaram uma tendência sem variações durante os anos em estudo. No entanto o O_3 manifestou uma tendência crescente. Concluiu-se que os episódios de poluição atmosférica identificados no período analisado tiveram um forte contributo das fontes industriais que se encontram localizadas na região. No entanto, esta região também sofre a influência de outras fontes de poluição, assim como de transporte de poluentes de outras regiões.

Keywords

Air quality management, Hysplit model, Estarreja, atmospheric emissions

Abstract

The strong industry growth, along with the increase of the population and road traffic in urban centres that has been evident in recent decades, has contributed to the deterioration of air quality, particularly in highly industrial urban areas.

Estarreja is an interesting case study, since during decades, due to the proximity of the chemical complex (CQE), the region has been affected by industrial activity, among other pollutant sources, namely in what concerns the air quality in the region.

The main purpose of this work was to assess the historical evolution of air quality in Estarreja, referring to the study period between 2000 and 2009, thus contributing to air quality management in this region by suggesting air pollution impact mitigating measures. To carry out this work, several validated data from concentrations recorded at air quality stations in the council of Estarreja, available on the Internet, were collected. These data were organized and processed in order to be perceived the general trend of health protection legislated pollutants – sulphur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃) and particles (PM₁₀ and PM_{2,5}). The data were compared with the parameters defined by the legislation currently in force (Decreto-Lei n.º 102/2010), so that the relevant air pollution episodes could be identified in a more specific study. Once the analysis of the possible source of the pollutants responsible for the selected episodes was completed, by using previously tested methods which included observed meteorological and air quality modelling analysis as well as backward trajectories, there were suggested improvement measures for the air quality management in this study area.

The evaluation of trends for NO₂, SO₂ and PM₁₀ showed no variations during the years under study. However O₃ showed an increasing trend on its concentration. It was concluded that air pollution episodes identified in the analyzed period had a strong contribution from industry sources located in the region. However, this region suffers the influence of other pollution sources and pollutants transportation from other regions as well.

Índice

1. Introdução	1
2. A Gestão da Qualidade do Ar	5
2.1. Poluentes atmosféricos e fontes emissoras	5
2.2. Inventariação de Emissões.....	9
2.3. Qualidade do ar	12
2.4. Enquadramento legal da qualidade do ar	17
3. Caracterização da área de estudo.....	22
3.1. Caracterização Geográfica	22
3.2. Caracterização sócio-económica	24
3.3. Acessibilidade e Transportes	27
3.4. Caracterização climatológica e meteorológica.....	27
3.5. Emissões atmosféricas em Estarreja	29
3.6. Estações da qualidade do ar	32
4. Monitorização da qualidade do ar em Estarreja.....	34
4.1. Recolha e análise de dados.....	34
4.2. Análise de tendências	37
4.3. Análise de excedências	40
4.4. Análise do Índice de Qualidade do Ar.....	50
5. Análise de episódios.....	52
6. Linhas de orientação	73
7. Conclusões.....	79
Referências Bibliográficas.....	83
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Escalas espaciais relacionada com a poluição atmosférica	6
Tabela 2 – Principais características, fontes e efeitos dos poluentes atmosféricos abrangidos pela legislação (Adaptado de URL 1)	7
Tabela 3 – Actividades SNAP	10
Tabela 4 – Tipo de estação quando à influência e ambiente (Adaptado de Borrego e Miranda, 2008)	12
Tabela 5 – Classificação do Índice de Qualidade do Ar a partir de 2010 (Fonte: URL 1)	17
Tabela 6 – Resumo dos parâmetros definidos no DL 102/2010 para as concentrações de poluentes no ar ambiente	18
Tabela 7 – Dados médios de Humidade Relativa, horas de sol, precipitação e dias de chuva ao longo do ano em Estarreja (Fonte: URL 7).....	28
Tabela 8 – Estações de qualidade do ar de Estarreja (presente e passado)	33
Tabela 9 – Eficiência dos dados para os poluentes e anos em análise	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre emissões de cada sector de actividade e a qualidade do ar e seus efeitos associados (Adaptado de Larssen <i>et al.</i> , 2004 ; Salmim, 2005)	8
Figura 2 – Emissões e projecções de NO _x , COVNM, SO ₂ , NH ₃ de Portugal (Fonte: EEA, 2010b).....	11
Figura 3 – Zonas e aglomerações definidas para Portugal Continental (Fonte: Monteiro, 2007).....	13
Figura 4 – Delimitação das zonas e aglomerações nacionais (a) e da Região Centro (b) e respectivas estações de monitorização (Fonte: Lameiras, 2009a; URL 1).	14
Figura 5 – Enquadramento Geográfico (Fonte: URL 3; URL 4)	22
Figura 6 – Valores de Altimetria para a região de Estarreja (dados disponibilizados pelo Atlas do Ambiente - http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/)	23
Figura 7 – Distribuição da população residente por freguesia do concelho de Estarreja (dados dos censos 2001) (Fonte: URL 4)	24

Figura 8 – Composição da população do concelho de Estarreja de acordo com faixa etária (Fonte: Censos 2001 ; INE, 2010).	25
Figura 9 – População activa por sector de actividade (Censos 1991 e 2001)	26
Figura 10 – Localização do Complexo Químico de Estarreja (imagem retirada do <i>Google Earth</i>)	26
Figura 11 – Rede rodoviária(a) e ferroviária (b) do concelho de Estarreja (Fonte: URL 5; URL 6).....	27
Figura 12 – Evolução das temperaturas médias mensais ao longo do ano em Estarreja (Fonte: URL 7)	28
Figura 13 – Rosa anemométrica de S. Jacinto (INMG, 1954/1980) (Fonte: ICN, 2002)	29
Figura 14 – Inventários de emissões do concelho de Estarreja (Fonte: APA)	30
Figura 15 – Emissões de NO _x , PM ₁₀ , SO _x , NH ₃ , N ₂ O e COVNM por sector de actividade no concelho de Estarreja (Fonte: URL 2)	31
Figura 16 – Localização das estações de qualidade do ar de Estarreja (presente e passado)	32
Figura 17 – Variação diária das médias horárias de SO ₂ (a), PM ₁₀ (b), NO (c), NO ₂ (d), O ₃ (e) NO _x (f) e PM _{2,5} (g) entre os anos de 2000 e 2009 para a Teixugueira e de 2000-2004 para Avanca (Fonte: URL 1)	35
Figura 18 – Representação das médias diárias e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para o NO ₂ (a), SO ₂ (b), PM _{2,5} (e), PM ₁₀ (d) e O ₃ (c)	38
Figura 19 – <i>Boxplot</i> das médias diárias para o NO ₂ (a), SO ₂ (b), PM _{2,5} (e), PM ₁₀ (d) e das médias horárias para o O ₃ (c)	39
Figura 20 – Máximos horários de NO ₂ comparados com valor limite, n.º de excedências.42	
Figura 21 – Médias anuais de NO ₂ comparadas com o valor limite	42
Figura 22 – Máximos horários de SO ₂ comparadas com o valor limite, n.º de excedências	43
Figura 23 – Máximos diários de SO ₂ comparadas com o valor limite, n.º de excedências. 44	
Figura 24 – Limiar de alerta para o SO ₂	44
Figura 25 – Máximos médias octo-horárias de O ₃ comparadas com o valor alvo, n.º de excedências	45
Figura 26 – N.º de ultrapassagens ao limiar de informação e alerta para o O ₃	46

Figura 27 – Máximos das médias diárias octo-horárias de O ₃ comparadas com o objectivo a longo prazo	47
Figura 28 – Máximas diárias de PM ₁₀ comparadas com o valor limite, n.º de excedências	48
Figura 29 – Médias anuais de PM ₁₀ comparadas com o valor limite.....	48
Figura 30 – Médias anuais de PM _{2,5} comparadas com o valor limite.....	49
Figura 31 – Índice da qualidade do ar na Zona de Influência de Estarreja entre 2003 e 2008 (Fonte: Lameiras, 2009b).....	50
Figura 32 – Taxa percentual do índice da qualidade do ar nas Zonas/Aglomerações da Região Centro, no período 2003-2008 (Fonte: Lameiras, 2009b).....	51
Figura 33 – Concentrações de SO ₂ e O ₃ monitorizadas entre 22 de Abril e 5 de Maio de 2000.....	54
Figura 34 – Parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de SO ₂ medidos entre 22 de Abril e 5 de Maio de 2000.....	55
Figura 35 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a, b, c, g, h, i), e retrotrajectórias do modelo HYSPLIT (d, e, f, j, l, m) para os dias referidos.	56
Figura 36 – Concentrações de SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ e PM _{2,5} monitorizadas entre 01 e 03 de Abril de 2008.	58
Figura 37 – Parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de SO ₂ medidos entre 01 e 03 de Abril de 2008.....	59
Figura 38 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a, b), e retro-trajectórias do modelo HYSPLIT (c, d) para os dias referidos.	60
Figura 39 – Concentrações de SO ₂ , NO ₂ , O ₃ e PM ₁₀ monitorizadas entre 21 e 23 de Janeiro de 2004	61
Figura 40 – Índice de aerossóis do fornecido pelo modelo DREAM (a) e pelo NASA-TOMS (b) para o dia 22/01/2004. (Fonte: URL 10 e URL 11)	62
Figura 41 – Parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de PM ₁₀ medidos entre 21 e 23 de Janeiro de 2004.	62
Figura 42 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a), e retro-trajectórias do modelo HYSPLIT (b, c) para o dia 22 de Janeiro de 2004.	63

Figura 43 – Concentrações de SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM10 e PM2,5 monitorizadas entre 04 e 06 de Agosto de 2005	64
Figura 44 – Parâmetros meteorológicos (temperatura, velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de O ₃ e PM10 medidos entre 04 e 06 de Agosto de 2005.....	65
Figura 45 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a), e retrotrajectórias do modelo HYSPLIT (b) para o dia 05 de Agosto de 2005	66
Figura 46 – Índice de aerossóis do fornecido pelo modelo DREAM (a) e pelo NASA-TOMS (b) para o dia 05/08/2005. (Fonte: URL 10; URL 11)	67
Figura 47 – Retrotrajectórias do modelo HYSPLIT para o dia 05 de Agosto de 2005 para as alturas 100, 500 e 2500 m agl (3 dias) (a) e para as alturas 100, 250, 500 m agl (8 horas) (b).....	68
Figura 48 – Concentrações de SO ₂ , NO ₂ e O ₃ monitorizadas entre 27 e 31 de Maio de 2001	69
Figura 49 – Parâmetros meteorológicos (temperatura, velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de O ₃ medidos entre 27 e 31 de Maio de 2001	70
Figura 50 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a, b, e f), e retro-trajectórias do modelo HYSPLIT (c, d, g, h) para os dias referidos	72

1. Introdução

O desenvolvimento industrial e urbano que se tem verificado nas últimas décadas tem contribuído para uma deterioração considerável da qualidade do ar. O aumento da produção industrial e da energia, a queima de combustíveis fósseis e o forte aumento do tráfego nas estradas são importantes fontes de poluição do ar nas cidades que, por sua vez, podem levar a sérios problemas de saúde. O acréscimo nas concentrações dos poluentes atmosféricos, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais é responsável por danos na saúde, redução da produção agrícola, danos na floresta, degradação das construções e património cultural e de uma forma geral origina desequilíbrios nos ecossistemas (Flagan e Seinfeld, 1988).

O estudo da poluição do ar pode ser dividido em três áreas distintas apesar de sobrepostas:

1. Os processos de formação de poluentes atmosféricos e o seu controlo na fonte. Esta primeira área envolve tudo o que ocorre antes de o poluente ser libertado para a atmosfera.
2. O transporte, a dispersão, transformação química e remoção de poluentes da atmosfera. Esta segunda área inclui, assim, todos os processos físicos e químicos que ocorrem entre o ponto de emissão e a sua remoção definitiva da atmosfera.
3. Os efeitos dos poluentes atmosféricos nos seres humanos, animais, materiais, vegetação, culturas, e florestais e dos ecossistemas aquáticos, incluindo a medição de poluentes gasosos e particulados (Flagan e Seinfeld, 1988).

A necessidade de melhorar a qualidade do ar foi reconhecida há já várias décadas, tendo-se adoptado medidas a nível nacional e a nível da União Europeia (UE) e assegurado uma participação activa em convenções internacionais (CE, 2005).

Uma estratégia de controlo da poluição do ar de uma região passa pela especificação dos níveis de emissões de poluentes admissíveis a partir das fontes. Para formular tal estratégia, é necessário ser capaz de estimar o destino das emissões atmosféricas e,

portanto, as concentrações no ambiente, de modo que estas possam ser comparadas com valores a partir dos quais possam provocar efeitos adversos (Flagan e Seinfeld, 1988).

Em Portugal, a gestão da qualidade do ar teve o seu início com a constituição do Grupo de Trabalho para a Poluição Atmosférica, em 1966, cujo principal objectivo era a definição de um programa de luta contra a poluição atmosférica nas zonas mais problemáticas do país. Em 1980 foram criadas 5 Comissões de Gestão do Ar, com jurisdição sobre as 5 maiores zonas urbanas e/ou industrializadas do país (Lisboa, Barreiro/Seixal, Porto, Estarreja e Sines), que constituiu, do ponto de vista estratégico, o primeiro instrumento de gestão da qualidade do ar (Lopes, 2004).

A entrada de Portugal para a então Comunidade Económica Europeia, hoje UE, impulsionou a que nos últimos 15-20 anos inúmeros diplomas fossem produzidos e adoptados, alguns ao abrigo da necessidade de transposição de Directivas Comunitárias e dos critérios de convergência em matéria de protecção do ambiente e recursos naturais no espaço europeu (Lopes, 2004).

Nos últimos 20 anos, a acção da EU, em matéria de qualidade do ar, incidiu essencialmente no estabelecimento de normas de qualidade mínimas do ar ambiente e na luta contra as chuvas ácidas e o ozono troposférico. Foram reduzidas as emissões poluentes das grandes instalações de combustão e de fontes móveis, melhorou-se a qualidade dos combustíveis e integraram-se as exigências de protecção ambiental nos sectores da energia e dos transportes (CE, 2005). Porém, apesar dos progressos verificados na redução das emissões de algumas dessas substâncias, subsistem ainda problemas de qualidade do ar à escala europeia e nacional (MAOTDR e IA, 2006)

Em Portugal os poluentes atmosféricos que mais contribuem para a deterioração da qualidade do ar são o ozono troposférico (O₃) e as partículas (PM) (APA, 2009), sendo igualmente estes os mais preocupantes em termos de saúde pública, uma vez que não se conhece um nível de exposição sem riscos destes poluentes (CE, 2005).

A estratégia para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos da poluição do ar na saúde humana e meio ambiente foi decidida com a aprovação da Directiva-quadro (96/62/CE),

posteriormente revogada pela Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio. Esta Directiva, relativa à qualidade do ar e a um “Ar Mais Limpo para a Europa”, unifica num só documento a legislação que consta das três primeiras Directivas-filhas e a Decisão do Conselho n.º 97/101/CE, de 27 de Janeiro. Estabelece um intercâmbio recíproco de informações e de dados provenientes das redes e estações individuais e a definição de um programa de avaliação da qualidade do ar nos territórios dos Estados-Membros, que deve incluir três principais componentes: a monitorização da qualidade do ar, a inventariação de emissões e a modelação atmosférica. A nível nacional o Decreto-lei n.º 102/2010 representa a transposição da Directiva 2008/50/CE em conjunto com a Directiva 2004/107/CE.

A região de Estarreja tem implantado no seu concelho um dos maiores complexos industriais do país e, em consequência disso, tem vindo a sofrer ao longo dos anos o impacto das actividades industrial e urbana, que se vê reflectido nos episódios de poluição atmosférica a que a população pode estar sujeita, causando desta forma danos na saúde.

Torna-se pertinente a realização de uma análise evolutiva da qualidade do ar nesta zona. Para avaliar a qualidade do ar na região é imperioso verificar o cumprimento das metas estabelecidas pela Directiva-quadro e entender as causas e a origem da poluição atmosférica. A modelação da qualidade do ar é por excelência uma ferramenta que permite fazer este estudo e a compreensão do fenómeno da poluição atmosférica (Monteiro *et al.*, 2007).

Os principais objectivos subjacentes à elaboração do presente trabalho são a avaliação da evolução histórica e a contribuição que este possa dar para a gestão da qualidade do ar em Estarreja. Como objectivos específicos pretende-se (1) analisar os dados das emissões e da qualidade do ar na região, (2) avaliar os episódios específicos de poluição atmosférica recorrendo à modelação e (3) definir estratégias de gestão da qualidade do ar.

De forma a atingir os objectivos propostos adoptou-se a seguinte metodologia:

1. Recolha bibliográfica e levantamento de informação para caracterização da região de estudo;
2. Obtenção, sistematização e tratamento dos dados das emissões e das concentrações de poluentes existentes, até à data, referentes à região de Estarreja;
3. Realização da análise de tendências e excedências dos valores de concentração dos vários poluentes (gasosos e particulados);
4. Identificação e análise dos episódios mais críticos de poluição atmosférica;
5. Sugestão de planos de acção, tendo em consideração as boas práticas adoptadas em casos semelhantes.

O trabalho desenvolvido encontra-se estruturado em 7 capítulos. Após a introdução, o capítulo 2 aborda os principais conceitos relativos à Gestão da Qualidade do Ar e a descrição dos instrumentos existentes, a nível nacional e europeu, de apoio a este capítulo.

No capítulo 3 é realizada a caracterização da área de estudo, ou seja o concelho de Estarreja, no que diz respeito à caracterização geográfica, sócio-económica, climatológica, acessibilidades, e quanto às emissões do concelho.

O capítulo 4 é dedicado à análise dos dados dos dados de monitorização da qualidade do ar em Estarreja, onde é realizado o tratamento estatístico, de forma a perceber a tendência verificada e as excedências ocorridas através da verificação do cumprimento legal para cada um dos poluentes durante os anos de estudo.

No capítulo 5 são analisados os episódios mais críticos de poluição atmosfera ocorridos no período de estudo, com recurso a cartas sinópticas e a retrotrajectórias do modelo HYSPLIT, assim como a outros dados considerados importantes para caracterizar cada episódio.

No capítulo 6 são sugeridas algumas medidas possíveis de aplicar com o objectivo do cumprimento legal relativamente às ultrapassagens verificadas aos valores limite ou valor alvo. Por último, são tiradas as devidas conclusões com base no estudo realizado.

2. A Gestão da Qualidade do Ar

A gestão da qualidade do ar tem como objectivo primordial proteger a saúde pública e o ambiente dos efeitos adversos da poluição do ar. As estratégias de gestão da qualidade do ar abrangem diversas actividades: incluindo a avaliação de riscos, o estabelecimento de padrões de emissão e de qualidade do ar, monitorização e fiscalização, implementação de medidas de controlo e comunicação do risco. O uso de padrões de qualidade do ar tornou-se, contudo, o pilar da gestão da qualidade do ar, cuja função, adoptada e aplicada pelas autoridades reguladoras, é definir o nível de poluição do ar aceitável para um país ou região (WHO, 2006).

Neste capítulo são abordados os vários aspectos relacionados com a gestão da qualidade do ar, sendo realizada uma contextualização dos poluentes atmosféricos e fontes emissoras, da inventariação das emissões e da qualidade do ar, assim como um enquadramento legislativo do tema.

2.1. Poluentes atmosféricos e fontes emissoras

A poluição do ar é definida como a presença na atmosfera exterior de um ou mais contaminantes (poluentes) em quantidades e duração que prejudique a saúde humana, a vida animal ou das plantas ou os materiais (Liu e Lipták, 2000).

Os poluentes atmosféricos podem ser caracterizados, quanto ao mecanismo de formação, como primários quando são emitidos directamente pelas fontes para a atmosfera (dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de azoto (NO_x), o monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV) e partículas primárias carbónicas e não carbónicas) e secundários quando resultam de reacções químicas que ocorrem na atmosfera e entre os poluentes primários (WHO, 2006), como ozono troposférico (O_3) e o material particulado (PM) secundário.

As fontes de poluição atmosférica podem ser classificadas quanto à sua origem como naturais — incluindo as catástrofes naturais como erupções vulcânicas, incêndios florestais, aerossóis marinhos, ressuspensão ou transporte atmosférico de partículas naturais provenientes de regiões secas, etc. — ou antropogénicas que resultam da actividade humana e incluem, entre outras, as instalações industriais, os meios de transporte, os processos de combustão, etc. (WHO, 2006).

Os poluentes podem ser emitidos a partir de fontes estacionárias ou móveis (Harrop, 2002), onde cada uma possui distintas características de emissão.

A poluição do ar ocorre numa gama de escalas espaciais (desde a local à global) relacionadas principalmente com o tempo de vida atmosférica de um poluente específico (WHO, 2006) (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Escalas espaciais relacionada com a poluição atmosférica

Escala	Dimensão	Descrição
Local	> 5 Km	Problemas de poluição caracterizados por uma ou várias grandes fontes emissoras ou um grande número de pequenas fontes (Vallero, 2008). Alguns poluentes, em virtude da sua fonte ou por possuírem um tempo de vida curto na atmosfera, só são encontrados em concentrações apreciáveis próximo de onde são emitidos e não estão presentes em concentrações significativas na atmosfera de fundo (WHO, 2006).
Urbana	> 50 Km	Problemas de poluição associados à libertação de poluentes primários e à formação de poluentes secundários (Vallero, 2008). Os poluentes de origem urbana, tais como NOx e CO gerados pelo tráfego rodoviário, tendem a estar presentes em concentrações elevadas em toda a cidade e em concentrações significativamente reduzidas em áreas rurais adjacentes. O seu tempo de vida na atmosfera não é longo (tipicamente horas) e, portanto, as concentrações na atmosfera de fundo afastadas tendem a ser muito baixas (excepto no caso de CO, em que o tempo de vida é mais longo) (WHO, 2006).
Regional	50 - 500 Km	Os poluentes na forma de partículas finas (<2,5 µm de diâmetro, mas não as partículas ultra finas) e alguns poluentes em fase gasosa, como o O ₃ , têm um tempo de vida de dias ou mesmo semanas, o que lhes permite serem transportados numa escala regional. Poluentes como partículas de sulfato e O ₃ podem facilmente viajar milhares de quilómetros num processo conhecido como transporte de longa distância, atravessando as fronteiras nacionais (WHO, 2006).
Global	Escala Planetária	Alguns poluentes, especialmente aqueles associados aos efeitos de estufa (CO ₂ , N ₂ O e NH ₄), têm um tempo de vida na atmosfera de anos e são, portanto, capazes de distribuição em todo o hemisfério e, por último, globalmente. Nestes casos, as concentrações são por vezes marginalmente superiores perto das fontes, em relação ao fundo regional, a menos que as fontes emitam grandes quantidades (WHO, 2006)

Quando consideramos os efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde, especialmente nas áreas urbanas onde a densidade populacional é alta, as fontes antropogénicas são muito importantes e é para estas que usualmente se direcciona a atenção com vista ao controlo. De forma esquemática na Tabela 2 encontra-se a informação relativa às características, fontes e efeitos dos poluentes.

Tabela 2 – Principais características, fontes e efeitos dos poluentes atmosféricos abrangidos pela legislação (Adaptado de URL 1)

Poluente	Características físico-químicas	Fontes	Efeitos
CO	-Incolor -Inodoro	-Tráfego (especialmente veículos sem catalisador) -Indústrias	-Inibe a capacidade do sangue em trocar oxigénio com os tecidos vitais, podendo em concentrações extremas provocar morte por envenenamento. -Afeta principalmente o sistema cardiovascular e o sistema nervoso. Concentrações mais baixas são susceptíveis de gerar problemas cardio-vasculares em doentes coronários (p.ex. casos de angina de peito). Concentrações elevadas são susceptíveis de criar tonturas, dores de cabeça e fadiga.
NO ₂	-Castanho claro, quando em baixas concentrações -Cria uma brisa castanha desagradável, em altas concentrações	-Tráfego -Sector industrial, em geral, dado que é o resultado da queima de combustíveis a temperaturas mais ou menos elevadas	-Altas concentrações podem provocar problemas do foro respiratório, especialmente em crianças, tais como doenças respiratórias (asma ou tosse convulsa). Doentes com asma podem também sofrer dificuldades respiratórias adicionais com estes elevados teores. -É um poluente acidificante, envolvido em fenómenos como as chuvas ácidas (felizmente têm pouca expressão no nosso país), as quais acidificam os meios naturais (p.ex. as águas de lagos) e atacam quimicamente algumas estruturas, p.ex. materiais metálicos (corrosão), bem como tecidos vegetais.
SO ₂	-Incolor -Inodoro, em baixas concentrações -Cheiro intenso a enxofre, em altas concentrações	-Sector industrial (especialmente refinarias, caldeiras queimando combustíveis com altos teores de enxofre - p.ex. fuelóleo, indústria química e pastas de papel)	-Altas concentrações podem provocar problemas no tracto respiratório, especialmente em grupos sensíveis como asmáticos. -É um poluente acidificante, contribuindo para fenómenos como as chuvas.
O ₃	-Incolor, embora seja o principal constituinte do smog fotoquímico, que se traduz por uma névoa que se forma alguns metros acima da superfície do solo	-Forma-se ao nível do solo como resultado de reacções químicas que se estabelecem entre alguns poluentes primários, tais como os NO _x , os COV's ou o CO. Estas reacções dão-se na presença de luz solar, sendo particularmente importantes no verão. <i>Poluentes primários provêm de:</i> -tráfego; indústrias; aterros sanitários; tintas e solventes; florestas (principalmente COV); pequenas fontes (estações de serviço, equipamentos mecânicos de jardinagem)	-É um poderoso oxidante, o que se reflecte nos ecossistemas, nos materiais e na saúde humana - Pode irritar o tracto respiratório, já que o oxida, podendo provocar dificuldades respiratórias (p.ex. impossibilidade de respirar fundo, inflamações brônquicas ou tosse). -É o principal constituinte do <i>smog</i> fotoquímico, o qual é frequentemente associado a diversos sintomas particularmente em grupos sensíveis como crianças, doentes cardiovasculares e/ou do foro respiratório e idosos. -É, frequentemente, apontado como o principal responsável por perdas agrícolas e danos na vegetação, existindo espécies particularmente sensíveis ao seu efeito tal como o <i>Pinus Alepensis</i> (espécie de pinheiro existente, p.ex., na Serra da Arrábida).
PM10 e PM2,5	-Material sólido ou pequenas gotículas de fumo, poeiras e vapor condensado no ar	-Tráfego -Sector industrial (cimenteiras, indústria química, refinarias, siderurgias, pastas de papel, extracção de madeiras,...) -Obras de construção civil -Processos agrícolas (ex. aragem dos solos)	-São um dos principais poluentes em termos de efeitos na saúde humana, particularmente as partículas de menor dimensão que são inaláveis, penetrando no sistema respiratório e danificando-o Têm-se caracterizado por serem, pretensamente, responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias (p.ex. o aumento da incidência de bronquite asmática). -Podem ser responsáveis pela diminuição da troca gasosa em espécies vegetais. -Danificam igualmente o património construído, especialmente tintas.

A severidade do impacto está dependente da concentração e mistura dos poluentes e a susceptibilidade do receptor (Harrop, 2002).

A grande preocupação em torno da poluição atmosférica prende-se essencialmente com o reflexo que a evidente acumulação dos poluentes atmosféricos tem na saúde e no bem-estar humano (Salmim, 2005). De forma esquemática a Figura 1 representa a relação entre os vários sectores de actividade, os principais poluentes emitidos e os seus principais efeitos.

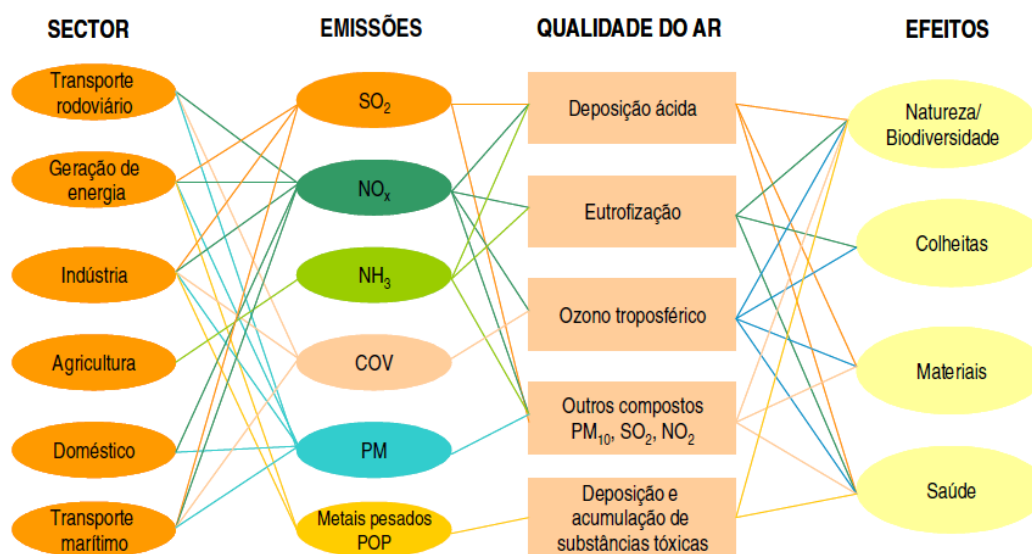


Figura 1 – Relação entre emissões de cada sector de actividade e a qualidade do ar e seus efeitos associados (Adaptado de Larssen *et al.*, 2004 ; Salmim, 2005)

A concentração dos poluentes atmosféricos é influenciada pelas condições meteorológicas e variam consideravelmente com o tempo. Estas variações são largamente determinadas por factores meteorológicos. Na medida em que os poluentes são dispersos e diluídos e estão dependentes da velocidade do vento, da turbulência, da altura da camada de mistura, da topografia, etc.. Os poluentes atmosféricos podem sofrer advecção, dispersão, difusão, transformação e remoção, fenómenos que podem ser afectados por vários factores que devem ser considerados em qualquer estudo de modelação da dispersão do ar. Os principais factores são: Condições meteorológicas (velocidade e direcção do vento, estabilidade atmosférica, temperatura); Topografia; Estruturas e edifícios (Harrop, 2002).

2.2. Inventariação de Emissões

A inventariação de emissões atmosféricas é uma componente fundamental de suporte para a gestão da qualidade do ar, permitindo a identificação de fontes e actividades poluidoras (Monteiro *et al.*, 2001). É uma ferramenta essencial para o conhecimento das consequências que a actividade humana tem na atmosfera, e uma peça chave para a eleição e definição das políticas de qualidade do ar e das alterações climáticas (APA, 2010).

Os inventários de emissões são ferramentas importantes que resultam da soma das emissões de diferentes fontes numa área geográfica e são aplicáveis às emissões de poluentes primários. No caso de poluentes secundários, o modo como se formam torna difícil incluí-los facilmente em inventários de emissões (WHO, 2006).

A Comissão Europeia desenvolveu uma metodologia para estimar as emissões na Europa que deu origem aos inventários CORINAIR (*CORe Inventory of AIR emissions*) (Borrego *et al.*, 2002). Esta metodologia, adoptada pelo programa EMEP (*Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe*), procurou harmonizar a inventariação das emissões atmosféricas através da definição de categorias de poluentes e fontes poluidoras, juntamente com procedimentos de validação e verificação. Os inventários actualmente disponíveis são elaborados segundo esta metodologia, e agrupam as fontes poluidoras em 11 categorias (SNAP) (Monteiro, 2007), descritas na Tabela 3, dentro das quais existem inúmeras subcategorias permitindo investigar em maior profundidade a importância relativa dos diferentes tipos de fontes (WHO, 2006).

Tabela 3 – Actividades SNAP

Código SNAP	Actividades
1	Produção de energia
2	Combustão residencial e comercial
3	Combustão industrial
4	Processos de produção
5	Extracção e distribuição de combustíveis
6	Evaporação de solventes
7	Transportes rodoviários
8	Outras fontes móveis
9	Tratamento e deposição de resíduos
10	Agricultura
11	Natureza (biogénicas)

Esta metodologia classifica ainda as fontes poluidoras em grandes fontes emissoras (instalações industriais com níveis de produção elevados, como são exemplos as centrais térmicas; celulosas; cimenteiras, entre outras) e fontes em área (actividades poluidoras de carácter difuso). Os poluentes considerados incluem os gases com efeito de estufa, os acidificantes e o material particulado: SO₂, NO_x, COVNM, CH₄, CO, CO₂, NH₃, N₂O, PM10 (Monteiro, 2007).

O inventário CORINAIR representa uma das possíveis bases para a quantificação dos principais poluentes lançados anualmente na atmosfera à escala nacional. Em Portugal, este é um dos principais bancos de dados de referência sobre emissões atmosféricas e é utilizado como uma ferramenta complementar para as decisões políticas sobre o ambiente (Borrego *et al.*, 2002).

Na EU, as indústrias de combustão (que incluem as centrais eléctricas, refinarias e o sector da fabricação) continuam a ser importantes fontes de poluição do ar, sendo os principais contribuintes para as emissões de matéria particulada e de poluentes acidificantes. O transporte rodoviário é o que contribui mais significativamente para as emissões de precursores de ozono troposférico. Em conjunto, essas fontes são responsáveis por cerca de metade a dois terços do total emissões destes poluentes (EEA, 2010a).

Na Europa, os principais poluentes atmosféricos emitidos são o SO_2 , o NO_x , a amónia (NH_3), os compostos orgânicos voláteis não-metano (COVNM) e as partículas (PM) (EEA, 2007). Segundo os dados da “European Environment Agency” (EEA, 2010b), as emissões nacionais têm sofrido um decréscimo ao longo dos anos, como se pode verificar na Figura 2, situando-se, no ano de 2008, abaixo do tecto de emissão definido para 2010 para NO_x , SO_2 e NH_3 .

As grandes reduções foram feitas relativamente aos COVNM e ao SO_2 . A tendência das emissões de SO_2 mostra uma redução significativa (-64,6% entre 1990 e 2008), apresentando-se 33% abaixo do limite estabelecido pelo tecto nacional de emissão de SO_2 (APA, 2010). No entanto, no caso dos COVNM e apesar da tendência decrescente nas emissões, -34% entre 1990 e 2008, verifica-se que o nível de emissão em 2008 ultrapassa o tecto nacional em cerca de 9,7% (APA, 2010).

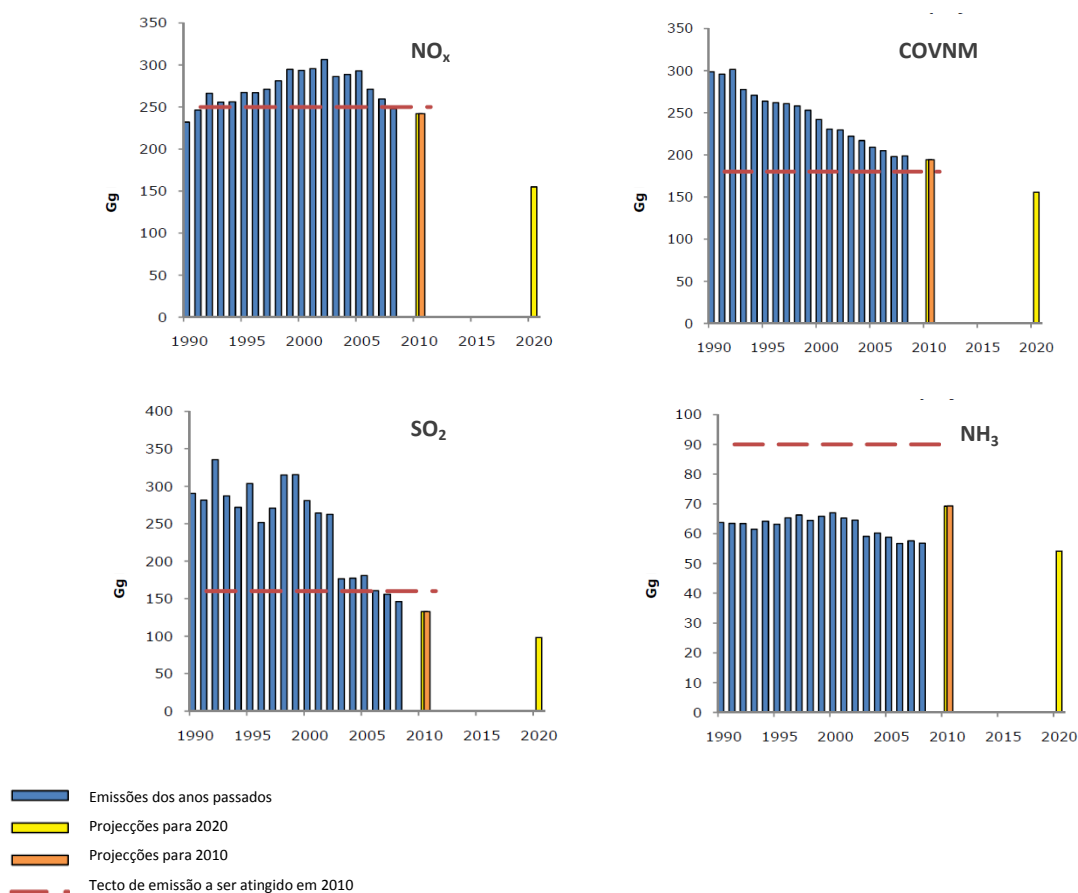


Figura 2 – Emissões e projecções de NO_x , COVNM, SO_2 , NH_3 de Portugal (Fonte: EEA, 2010b)

A tendência nas emissões de NO_x mostra um crescimento significativo das emissões na década de 1990 (+23,8%). A partir de 2000 as emissões de NO_x estabilizam observando-se até uma tendência de decréscimo nos últimos anos. Entre 1990 e 2008 a variação de NO_2 é de +3,2%. Em 2008, o valor das emissões ultrapassa o tecto nacional de emissão em cerca de 0,8% (APA, 2010)

Para as emissões de NH_3 verifica-se uma ligeira tendência decrescente (-20,3%). Em 2008 o valor da emissão apresenta-se 43,8% abaixo do tecto nacional de NH_3 (APA, 2010).

2.3. Qualidade do ar

Nas décadas de oitenta e noventa a avaliação da qualidade do ar nos Estados Membros baseava-se nas redes de monitorização desenhadas de acordo com as suas próprias realidades. Em 1996, a Directiva do Conselho 96/62/CE¹ estabeleceu os princípios e normas para avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente através de métodos e critérios comuns (APA, 2008a), sendo a competência para tal avaliação atribuída à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR).

De acordo com o estipulado na Decisão 2001/752/EC, de 17 de Outubro de 2001 (APA, 2008a), as estações de qualidade do ar devem ser classificadas em função do tipo de ambiente em que estão localizadas e em termos de influência das fontes de emissão mais próximas (Tabela 4).

Tabela 4 – Tipo de estação quando à influência e ambiente (Adaptado de Borrego e Miranda, 2008)

Classificação	Tipo	Descrição
Ambiente	Urbana	Localizada em ambiente urbano - cidades
	Suburbana	Localizada na periferia das cidades
	Rural	Localizada em ambiente rural
Influência	Tráfego	Monitorizam a qualidade do ar resultante de emissões directas do tráfego automóvel
	Industrial	Monitorizam a qualidade do ar resultante de emissões directas da indústria
	Fundo	Não estão sob a influência directa de emissões de nenhuma fonte em particular; resultando antes da mistura de emissões de vários tipos de fontes

¹ Transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 276/99 de 23 de Julho.

Estas classificações interligam-se entre si, existindo estações urbanas de fundo, rurais de fundo, suburbanas de fundo, urbanas de tráfego e industriais (Borrego e Miranda, 2008).

De acordo com a Directiva 96/62/CE foram definidas zonas² e aglomerações³ para a avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente que, em Portugal, foram delimitadas da seguinte forma (ver Figura 3):

- 6 zonas na região Norte, com 3 aglomerações (Porto Litoral, Vale do Ave e Braga);
- 5 zonas na região Centro; com 2 aglomerações (Aveiro/Ílhavo e Coimbra);
- 4 zonas na região de Lisboa e Vale do Tejo, com 3 aglomerações (AML Norte, Sul e Setúbal);
- 2 zonas na região do Alentejo;
- 4 zonas no Algarve, com 3 aglomerações (Portimão/Lagos; Albufeira/Loulé e Faro/Olhão).



Figura 3 – Zonas e aglomerações definidas para Portugal Continental (Fonte: Monteiro, 2007)

² Área geográfica de características homogéneas, em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional.

³ Zona de conurbação caracterizada por um n.º de habitantes superior a 250 000 ou em que o n.º de habitantes se situe entre 250 000 e 50 000 e tenha uma densidade populacional superior a 500 hab/Km²

A rede oficial de monitorização da qualidade do ar é composta por 77 estações sob responsabilidade das CCDR das respectivas áreas. Na Figura 4a) encontra-se ilustrada a distribuição das estações a nível nacional e na Figura 4b) estão representadas as estações da região centro. As redes regionais de monitorização da qualidade do ar existentes em Portugal cobrem todo o território nacional (Continente e Ilhas), observando-se uma maior concentração das estações de monitorização no litoral do país (Ribeiro, 2008). Os dados da qualidade do ar obtidos nas estações integram o sistema nacional de informação sobre qualidade do ar e encontram-se disponíveis na base de dados *on-line* sobre a qualidade do ar – QualAr (www.qualar.org).

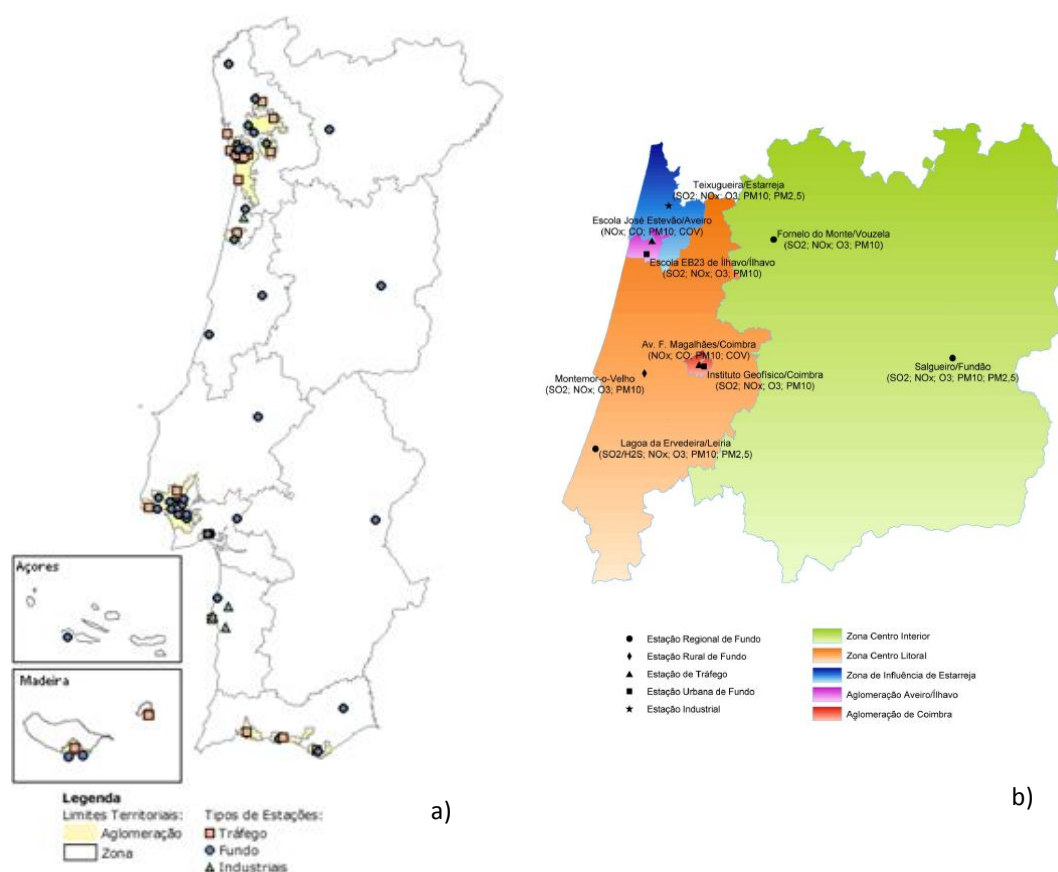


Figura 4 – Delimitação das zonas e aglomerações nacionais (a) e da Região Centro (b) e respectivas estações de monitorização (Fonte: Lameiras, 2009a; URL 1).

A qualidade do ar é monitorizada através de analisadores de funcionamento contínuo instalados em abrigos/estações, sendo os dados normalmente expressos a partir da

concentração de um dado poluente num determinado intervalo de tempo. Os poluentes monitorizados nas estações da qualidade do ar são, sobretudo, poluentes primários como o SO₂, os NO_x, o CO e as partículas. No caso dos poluentes secundários, destaca-se o O₃ cuja monitorização cobre praticamente todo o território nacional, com maior concentração na zona litoral e nas áreas urbanas do Porto e Lisboa (APA, 2008b). O O₃ e as partículas (nomeadamente PM₁₀) são os poluentes atmosféricos mais críticos em termos de qualidade do ar, devido aos seus efeitos na saúde humana e aos níveis que se têm registado em várias estações de monitorização em Portugal Continental, ultrapassando os respectivos valores limite legislados e colocando em risco a saúde das populações nas regiões afectadas (Ferreira *et al.*, 2009).

Os dados de monitorização da qualidade do ar recolhidos são limitados, quer geograficamente, quer relativamente aos poluentes medidos, proporcionando uma visão restrita da qualidade do ar. É evidente a necessidade de caracterizar adequadamente o restante território nacional, para além de um conhecimento mais detalhado da composição química da atmosfera (Borrego e Monteiro, 2008). Neste contexto, a modelação constitui uma ferramenta essencial, uma vez que permite a obtenção da distribuição espaço-temporal dos níveis de concentração de poluentes no ar ambiente, contribuindo para uma perspectiva mais abrangente da poluição atmosférica numa dada região (Borrego *et al.*, 2008)

Os modelos existentes podem ser classificados de acordo com o objectivo, a escala e o tipo de aplicação. Quanto ao objectivo de aplicação, os modelos podem ser de diagnóstico ou de prognóstico (Reid *et al.*, 2007), caso sejam aplicados a uma circunstância passada ou futura (possibilitando a previsão). Quanto ao tipo de modelo, consideram-se 3 grandes grupos: modelos de dispersão, químicos e de receptor. Os modelos de dispersão são usados para estimar a concentração de poluentes, em pontos específicos, emitidos por uma ou mais fontes emissoras, considerando apenas a dispersão do poluente e não a sua possível transformação química. Os modelos químicos de transporte (vulgarmente designados “CTM – Chemical Transport Models”) são aplicados a escalas espaciais maiores e consideram, para além do transporte e dispersão dos poluentes, os processos de transformação química a eles associados (Monteiro, 2007). Os

modelos de receptor (como exemplo o *Hysplit*) são utilizados para estimar a contribuição de diferentes fontes de emissão nas concentrações de poluentes medidas num local receptor (Tiwary *et al.*, 2010), assumindo uma relação linear entre emissões e concentrações (Reid *et al.*, 2007). Quanto à escala, os modelos podem ser aplicados nas três grandes escalas de modelação: a local, a mesoscala e a global.

Índices de Qualidade do Ar

Uma das formas de avaliar intuitivamente o estado da qualidade do ar é através do índice de qualidade do ar (IQAr). Este índice foi desenvolvido para poder traduzir de forma qualitativa a qualidade do ar, onde se associam os valores das concentrações de poluentes e uma escala de qualidade, permitindo desta forma uma fácil interpretação por parte do público dando resposta às obrigações legais (URL 1).

Os poluentes considerados para o cálculo do IQAr são o dióxido de azoto (NO₂), o O₃ e as PM10. A medição de CO e de SO₂ não é obrigatória; no entanto, caso exista, as concentrações são também utilizadas para o cálculo do IQAr.

O Índice divide-se em cinco classes — de "Muito Bom" a "Mau" — traduzidas por uma escala de cores (do verde ao vermelho) em que, para cada poluente, correspondem gamas de concentrações diferentes estabelecidas em função dos seus valores legislados, como os limiares inferior e superior de avaliação, o valor limite, o limiar de informação, o limiar de alerta de acordo com poluente em causa, para a protecção da saúde humana. Para cada área é efectuada a média das concentrações medidas, por poluente, para as estações existentes na Zona/Aglomeração. Os valores assim determinados são comparados com as gamas de concentrações associadas a uma escala de cores sendo os poluentes com a concentração mais elevada os responsáveis pelo índice da zona. Este índice encontra-se disponível diariamente na QualAr.

O índice foi concebido de modo a ponderar a margem de tolerância e a sua diminuição. Por isso, desde o início da aplicação do Decreto-Lei 276/99, a classificação do índice tem-se adaptado todos os anos até 2005 ou 2010, altura em que deixou de existir margem de tolerância e em que o valor limite ficou fixo. Na Tabela 5 está ilustrada a classificação a ser considerada para o ano de 2010 e seguintes.

Tabela 5 – Classificação do Índice de Qualidade do Ar a partir de 2010 (Fonte: URL 1)

Poluente em causa /Classificação	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Mau	10000	-----	400	-----	240	-----	120	-----	500	-----
Fraco	8500	9999	200	399	180	239	50	119	350	499
Médio	7000	8499	140	199	120	179	35	49	210	349
Bom	5000	6999	100	139	60	119	20	34	140	209
Muito Bom	0	4999	0	99	0	59	0	19	0	139

2.4. Enquadramento legal da qualidade do ar

A poluição atmosférica tem sido uma das áreas que tem suscitado uma elevada preocupação ambiental na Europa desde os anos 70. A UE tem actuado de forma a melhorar a qualidade do ar, controlando as emissões de substâncias perigosas para a atmosfera, melhorando a qualidade dos combustíveis, integrando requisitos de protecção ambiental nas áreas dos transportes e da energia.

Com o propósito de desenvolver uma estratégia global através da definição de objectivos de qualidade do ar a longo prazo, foi introduzida uma série de directivas para controlar os níveis de determinados poluentes e controlar as suas concentrações no ar.

Em 1996, foi aprovada a Directiva-Quadro 96/62/CE, também designada por “Directiva-mãe”, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente que estabeleceu um novo quadro legislativo, definindo os princípios base de uma estratégia comum a ser cumprida por todos os Estados-membros. O estabelecimento de linhas de orientação a fim de evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade, a avaliação da qualidade do ar ambiente nos Estados-membros, com base em métodos e critérios comuns, e a disponibilização de informação sobre qualidade do ar ao público em geral foram os princípios constituídos pela directiva e transpostos para direito nacional através do Decreto-Lei 276/99 de 23 de Julho, posteriormente alterado nos artigos 9º e 12º pelo Decreto-Lei 279/2007, de 6 de Agosto.

Surgiram posteriormente quatro Directivas-filhas (1999/30/CE, de 22 de Abril, 2000/69/CE, de 16 de Novembro, 2002/3/CE, de 12 de Fevereiro e 2004/107/CE, de 15 de

Dezembro) que definiram valores limite de qualidade do ar e limiares de alerta para poluentes atmosféricos específicos. Os objectivos destas directivas foram a harmonização das estratégias de controlo, dos métodos de medição e calibração e dos métodos de avaliação de qualidade para chegar a uma uniformização das medições em toda a UE e assegurar que a informação sobre as concentrações é disponibilizada ao público.

Em 2008 foi publicada uma nova Directiva relativa a qualidade do ar ambiente (Directiva 2008/50/CE). Esta Directiva unifica num só documento a legislação que consta na Directiva-Quadro e das três primeiras Directivas-filhas. A transposição desta directiva foi realizada através do Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro, acumulando também a transposição da directiva 2004/107/CE. Uma das novidades que a Directiva 2008/50/CE - *Clean Air for Europe* (CAFE) introduziu foi a regulamentação do poluente PM_{2,5}, sendo assim obrigatório fazer a sua avaliação. Estabelece, para o efeito, objectivos de qualidade do ar, objectivos de redução da exposição, um indicador de exposição média e impõe ainda um valor alvo e um valor limite. Na Tabela 6 encontram-se resumidos os parâmetros legalmente estabelecidos para a gestão da qualidade do ar ambiente.

Tabela 6 – Resumo dos parâmetros definidos no DL 102/2010 para as concentrações de poluentes no ar ambiente

PARÂMETRO	PERÍODO CONSIDERADO	VL + MT (µg.m-3 A 293 K E 101,3 KPA)
DIÓXIDO DE AZOTO – NO₂		
Valor limite horário para protecção da saúde humana	1 Hora	200 Não exceder mais de 18 vezes por ano civil
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	40
Limiar de alerta	Base horária (medido em 3 horas consecutivas)	400
OXIDOS DE AZOTO – NO_x		
Valor limite anual para protecção da vegetação	Ano civil	30
DIOXIDO DE ENXOFRE – SO₂		
Valor limite horário para protecção da saúde humana	1 Hora	350 Não exceder mais de 24 vezes por ano civil
Valor limite diário para protecção da saúde humana	24 Horas	125 Não exceder mais de 3 vezes por ano civil
Valor limite para protecção dos ecossistemas	Ano civil e período de Inverno (1/10 a 31/03)	20
Limiar de alerta	Base horária (medido em 3 horas consecutivas)	500

PARTICULAS EM SUSPENSÃO – PM10									
Valor limite diário para protecção da saúde humana	24 Horas	50 Não exceder mais de 35 vezes por ano civil							
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	40							
OZONO – O ₃									
Limiar de informação	1 Hora	180							
Limiar de alerta	1 Hora	240							
Valor alvo para a protecção da saúde humana (2010)	Máximo das medias octo-horárias do dia ⁽¹⁾	120 Não exceder em mais de 25 dias por ano civil							
Valor alvo para protecção da vegetação (2010)	AOT40 calculado com base nos valores horários de Maio a Julho	18 000							
Objectivo a longo prazo para protecção da saúde humana	Máximo da media diária octo-horária no ano civil ⁽¹⁾	120							
Objectivo a longo prazo para protecção da vegetação	AOT40 calculado com base nos valores horários de Maio a Julho	6 000 ⁽²⁾							
BENZENO									
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	5							
MONÓXIDO DE CARBONO – CO									
Valor limite para protecção da saúde humana	Máximo diário das médias octo-horárias ⁽¹⁾	10 000							
CHUMBO – Pb									
Valor limite para protecção da saúde humana	Ano civil	0.5							
PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO – PM2,5									
Limite de concentração de exposição	-	20							
Valor alvo	Ano civil	25							
Valor limite (1ª fase)	Ano civil	25 +MT							
		Margens de tolerância							
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
		5	4.28	3.56	2.84	2.13	1.42	0.71	0
Valor limite (2ª fase)	Ano civil	20 ⁽³⁾							

Notas:

(1) A média octo-horária é determinada para períodos consecutivos de 8 horas, calculada a partir de dados horários e actualizada hora a hora. Cada média octo-horária assim calculada será atribuída ao dia em que termina, desta forma, o primeiro período de cálculo para um determinado dia será o período decorrido entre as 17h00 do dia anterior e a 01h00 desse dia; o último período de cálculo será entre as 16h00 e as 24h00 desse dia.

(2) Em µg.m⁻³.h⁻¹

(3) Valor limite indicativo a rever pela Comissão em 2013

Planos de Melhoria e Programas de Execução

Para a avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente a Directiva-Quadro estabelece a obrigação da divisão do território em zonas e aglomerações, em função das características de qualidade do ar ou da população existente. Este diploma estipula que os Estados-Membros devem estabelecer a lista das zonas e aglomerações em que os níveis de poluentes sejam superiores ao valor limite, acrescido ou não de margem de tolerância, consoante esta se aplique e aquelas em que os níveis de ozono no ar ambiente são superiores ao valor alvo. Nas zonas e aglomerações identificadas, os Estados-Membros devem tomar medidas para garantir que seja elaborado ou aplicado um plano de melhoria e adoptando as medidas necessárias, destinados a fazer cumprir o valor limite dentro do prazo fixado (URL 2).

Na elaboração dos planos que estabelecem medidas para cumprimento dos valores limite de concentração de poluentes, há que avaliar a situação existente considerando aquelas já definidas no âmbito de outras estratégias, mas que influenciam positivamente a qualidade do ar, nomeadamente o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), a Prevenção e Controlo Integrados de Poluição (PCIP) e o Programa para os Tectos de Emissão Nacionais (PTEN). Caso se verifique que estas políticas e instrumentos não são suficientes para o cumprimento dos valores limite na data estipulada, será necessário aplicar medidas adicionais de acordo com os poluentes e tipos de fontes em causa (URL 2).

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, estabelece ainda que, seis meses após a aprovação dos planos de qualidade do ar, são apresentados os respectivos planos de execução, contendo medidas de execução obrigatória pelas entidades identificadas como responsáveis em razão da matéria, mediante proposta das Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) com jurisdição na área (URL 2).

Em 2008 foram elaborados a nível nacional dois Planos de Melhoria da Qualidade do Ar, um para a Região Norte outro para a Região de Lisboa e Vale do Tejo, publicados nas Portarias n.º 716/2008 e n.º 715/2008, de 6 de Agosto, respectivamente. Estes planos resultaram de incumprimentos dos valores limite de PM10 para a Região Norte e de

PM10 e NO₂ (em algumas aglomerações) para a Região de Lisboa e Vale do Tejo. De forma a implementar as políticas e medidas definidas nos Planos de Melhoria foram decretados subconjuntos de medidas que constituem os programas de execução dos respectivos planos. Foram publicados a 16 de Setembro de 2009, em Diário da República, os dois programas de execução dos Planos de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte (Despacho nº20762) e da Região de Lisboa e Vale do Tejo (Despacho nº20763).

3. Caracterização da área de estudo

A área de estudo onde foi desenvolvido o presente trabalho é o concelho de Estarreja. De forma a conhecer melhor este município, apresenta-se de seguida uma breve caracterização em termos de localização geográfica, caracterização sócio-económica, climatológica e meteorológica do concelho e de acessibilidades e transportes, assim como a sua caracterização a nível de emissões.

3.1. Caracterização geográfica

O concelho de Estarreja localiza-se na Zona Litoral da Região Centro, pertence administrativamente ao Distrito de Aveiro e constitui parte integrante da Sub-região do Baixo Vouga. Ocupa uma área de aproximadamente 108 Km² abrangendo 7 freguesias: Avanca, Pardilhó, Beduído, Veiros, Salreu, Canelas e Fermelã. Este Concelho insere-se ainda, na Área Territorial da Ria de Aveiro (URL 4). Os limites do concelho são: a noroeste (NW) o concelho de Ovar; a nordeste (NE) o de Oliveira de Azeméis; a sudeste (SE) o de Albergaria-a-Velha, a oeste (W) a Murtosa e a sul (S) Aveiro (Figura 5).

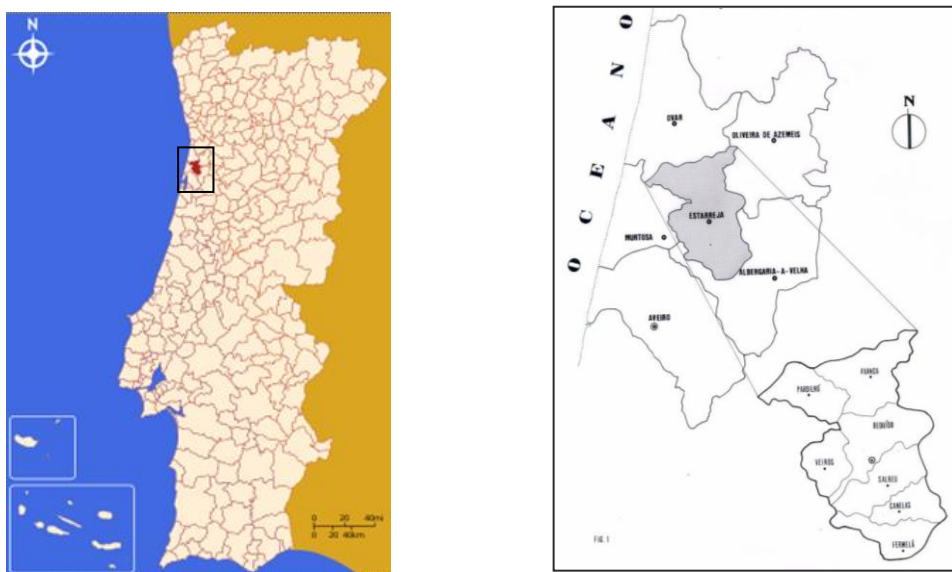


Figura 5 – Enquadramento Geográfico (Fonte: URL 3; URL 4)

O concelho de Estarreja não revela grandes variações de altitude, como se pode ver representado na Figura 6, não apresentando grandes acidentes morfológicos. Apenas os vales de algumas linhas de água são um pouco encaixados, apresentando as encostas bem protegidas por floresta. Segundo os estudos prévios do PDM de Estarreja (1988/1989) a carta hipsometria distingue 3 zonas (URL 4):

A zona Baixa (com níveis abaixo dos 10 metros), situa-se em parte das freguesias de Pardilhó, Veiros, Beduído, Salreu, Canelas e Fermelã. É nesta zona do Concelho que se encontram as áreas húmidas que marginam a Ria de Aveiro. É pouco ocupada pela população.

A zona Intermédia (com níveis aproximadamente entre os 10 e os 50 metros), é já mais habitada. É uma zona essencialmente agrícola, e integra parte de todas as freguesias.

A zona Alta (com níveis acima dos 50 metros), é essencialmente zona florestada, com excepção da parte alta de Salreu onde se localiza uma mancha de terrenos com potencialidades e uso agrícola. É integrada por parte das freguesias de Avanca, Beduído, Salreu, Canelas e Fermelã (SMPC, 2006).

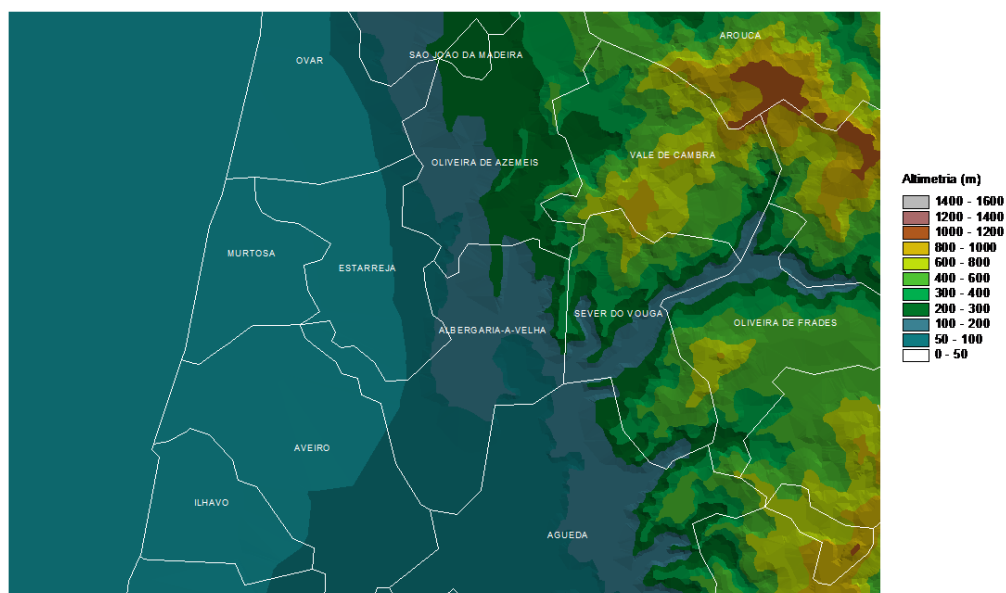


Figura 6 – Valores de Altimetria para a região de Estarreja (dados disponibilizados pelo Atlas do Ambiente - <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>)

3.2. Caracterização sócio-económica

A população do concelho de Estarreja, de acordo com os dados constantes nos Censos de 2001 (Figura 7), indica contrastes entre as freguesias a Norte e a Sul do concelho. As zonas Norte e Centro (freguesias de Avanca, Pardilhó e Beduído) constituem cerca de 65% (18443) da população do concelho. Estes números podem ter origem no desenvolvimento industrial destas zonas e nos acessos facilitados através das auto-estradas existentes. A freguesia de Beduído, sede do concelho onde se localiza a cidade de Estarreja, apresentou um crescimento de 15,8% de 1991 para 2001, registando o maior número de habitantes em 2001 (7794) e totalizando 28% da população do concelho.

A parte Sul do concelho (freguesias de Canelas, Fermelã e Salreu), com características mais rurais, concentra apenas cerca de 25% da população do concelho.

Homens ♀ / Mulheres ♂ por Freguesia

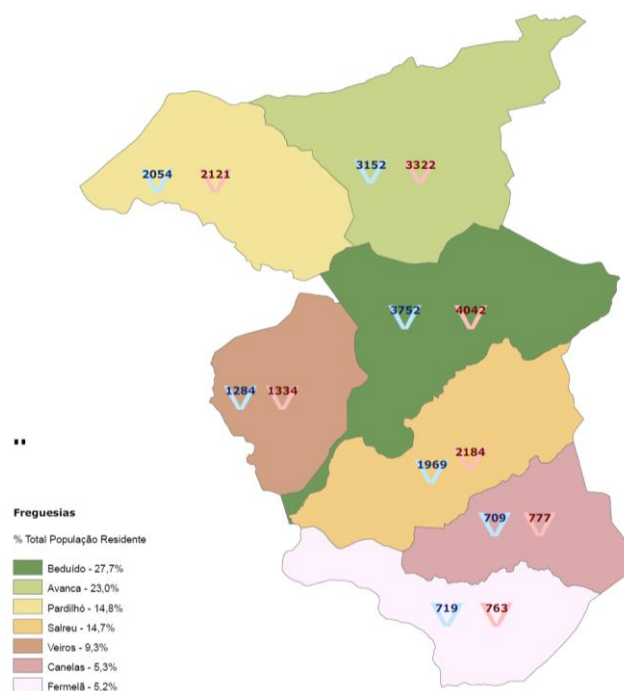


Figura 7 – Distribuição da população residente por freguesia do concelho de Estarreja (dados dos censos 2001) (Fonte: URL 4)

Em relação à evolução da população entre 1991 e 2001 verificou-se que ocorreu um crescimento de 5,4%, sendo este mais notório nas freguesias de Veiros (23,7%) e Beduído (15,8%). Por outro lado, na freguesia de Fermelã a população diminuiu 6,2%.

De acordo com os dados do “Anuário Estatístico da Região Centro 2009” (INE, 2010) em 2009 a população residente no concelho de Estarreja era de 28110 habitantes correspondendo a uma densidade populacional de 259,9 hab.km⁻², tendo apresentado um ligeiro decréscimo relativamente aos anos anteriores. A distribuição etária da região está representada na Figura 8 para 2001 e 2009.

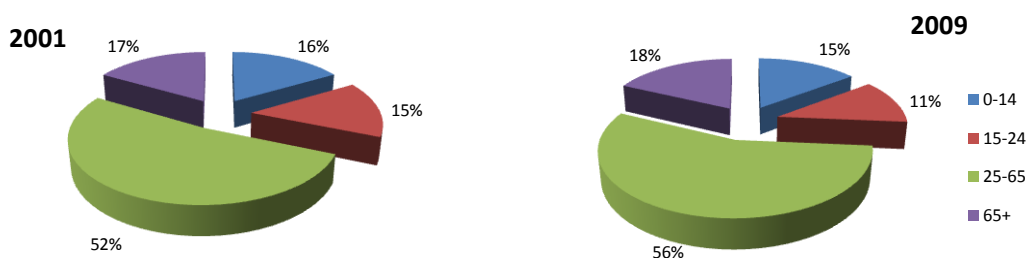


Figura 8 – Composição da população do concelho de Estarreja de acordo com faixa etária (Fonte: Censos 2001 ; INE, 2010).

Pela análise dos gráficos anteriores constata-se que houve uma diminuição da população com idade inferior a 24 anos e um aumento da população com idade superior a 25 anos. Este aumento é mais evidente na população activa dos 25 aos 65 anos representando um acréscimo de aproximadamente 6,6%.

A população activa em 2001 no concelho de Estarreja encontrava-se empregada sobretudo no sector secundário – actividades industriais transformadoras, a construção, a produção de energia e terciário – serviços. O sector primário – agricultura – sofreu um decréscimo entre 1991 e 2001 de 11% para 4%, enquanto que nos sectores secundário e terciário a percentagem da população empregada aumentou ligeiramente de 49 % para 50% e de 40% para 46%, respectivamente (Figura 9).

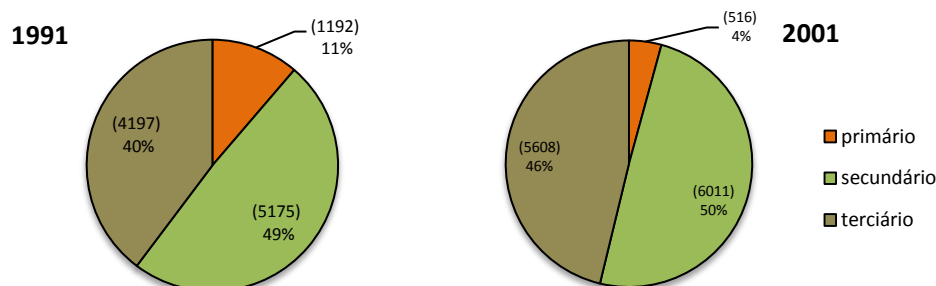


Figura 9 – População activa por sector de actividade (Censos 1991 e 2001)

Em Estarreja o tecido industrial é composto maioritariamente por pequenas/médias empresas inseridas em áreas industriais. Na década de 30 o concelho assistiu à instalação de algumas unidades industriais que tornaram esta região num dos pólos mais importantes da indústria química portuguesa. A primeira unidade de produção instalada destinava-se à produção de cloro e soda e pertencia à empresa belga Sapec. Contudo foi após a II Guerra Mundial que esta região se afirmou em termos de indústria química, com o início da produção de amoníaco. O Complexo Químico de Estarreja (CQE), localizado a norte do centro urbano (Figura 10), é composto actualmente por várias unidades industriais que desenvolvem actividades nas diversas vertentes da indústria química: a *CUF-QI*, produtor de produtos químicos orgânicos e inorgânicos (*cloro-alcalis*, anilina derivados); a *AQP*, produtos inorgânicos de base; a *Air Liquide*, fabricante de gases para a indústria, saúde e ambiente; a *Cires* cuja actividade é a produção de materiais termoplásticos e a *Dow*, fabricante de produtos poliuretanos.



Figura 10 – Localização do Complexo Químico de Estarreja (imagem retirada do *Google Earth*)

3.3. Acessibilidade e transportes

O Concelho de Estarreja possui uma acessibilidade facilitada quer por rede rodoviária quer por ferroviária. O concelho sustenta uma extensão viária de 399,76 km, sendo atravessado por importantes vias de transporte rodoviário, tais como a A1 que faz a ligação Lisboa – Porto; a A29 ligando Albergaria – Porto; a Estrada Nacional n.º 109 que liga Leiria – Porto e Estrada Nacional n.º 224 que vai da Murtosa – Castelo de Paiva. A nível ferroviário, a linha do Norte atravessa todo o concelho. Na Figura 11 está ilustrada a rede viária e ferroviária do concelho de Estarreja.

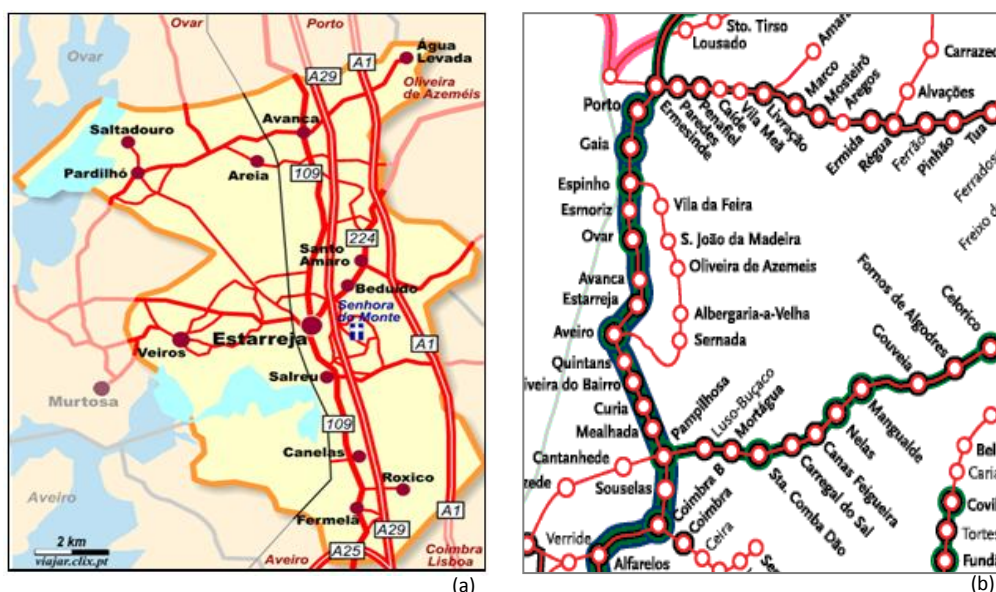


Figura 11 – Rede rodoviária(a) e ferroviária (b) do concelho de Estarreja (Fonte: URL 5; URL 6)

3.4. Caracterização climatológica e meteorológica

A região de Estarreja apresenta um clima classificado como temperado húmido, com a estação seca no Verão sendo este pouco quente mas extenso em que na classificação de Köppen corresponde a Csb – clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente.

A monitorização climatológica efectuada nesta área (Dados da Estação Meteorológica de Estarreja 1956-1970 – Instituto Nacional de Meteorologia) revela temperaturas médias

anuais de 14,1°C, com uma amplitude térmica anual média de 10,5°C (SMPC, 2006). Na Figura 12 pode observar-se a evolução das temperaturas médias ao longo do ano.

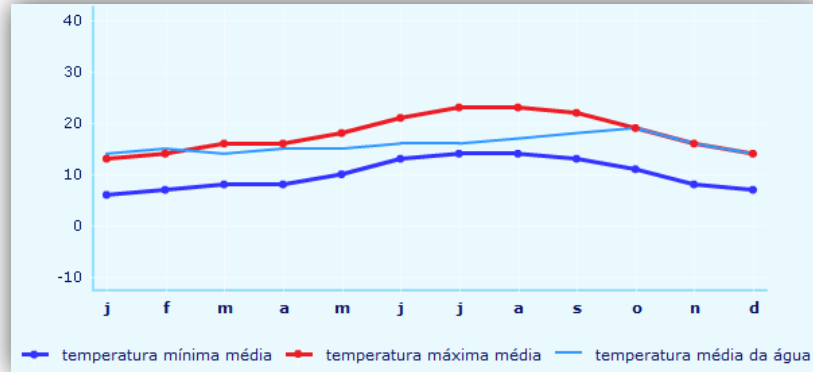


Figura 12 – Evolução das temperaturas médias mensais ao longo do ano em Estarreja (Fonte: URL 7)

Relativamente aos nevoeiros, segundo dados da Estação Meteorológica de Estarreja 1956-1970 – Instituto Nacional de Meteorologia, Estarreja é uma zona com nevoeiros característicos de região oceânica (com médias de 31,2 dias no ano e frequência de 8,5%), devidos a massas de ar continental quente que se deslocam sobre o mar (SMPC, 2006).

Em termos de precipitação o clima do concelho pode ser classificado de chuvoso, pois atinge um valor de quantidade total anual de 1152 mm (valor médio) (Dados da Estação Meteorológica de Estarreja 1956-1970) (SMPC, 2006). Na Tabela 7 estão representados os dados médios de parâmetros meteorológicos distribuídos ao longo do ano.

Tabela 7 – Dados médios de Humidade Relativa, horas de sol, precipitação e dias de chuva ao longo do ano em Estarreja (Fonte: URL 7)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade	79	78	72	77	80	77	79	80	80	80	79	77
Horas de sol	4	6	7	7	8	10	10	9	7	6	5	3
Precipitação	162	139	125	113	89	50	21	26	68	146	165	159
Dias de chuva	17	11	12	19	16	8	9	7	12	17	14	17

Tendo em consideração os dados da Estação Meteorológica de S. Jacinto (1954-1980), esta zona apresenta ventos predominantes dos quadrantes Norte / Noroeste (Figura 13). Estes ventos justificam-se pela proximidade oceânica, tratam-se de massas de ar tropical húmido, trazidas por perturbações ciclónicas em direcção ao oriente que, pela sua passagem, tornam o tempo instável e chuvoso. Os ventos dominantes do quadrante Norte e Noroeste sopram com maior intensidade nos meses de Verão, enquanto que os ventos de quadrante Este e Sudeste, apesar de menos significativos, sopram sobretudo nos meses de Inverno (ICN, 2002)

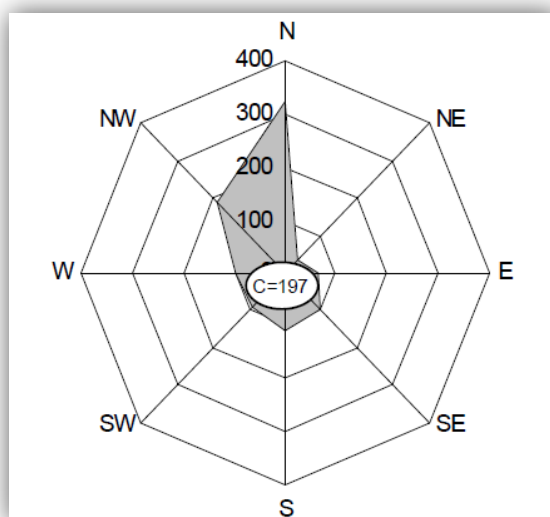


Figura 13 – Rosa anemométrica de S. Jacinto (INMG, 1954/1980) (Fonte: ICN, 2002)

3.5. Emissões atmosféricas em Estarreja

Dada a importância, para a compreensão dos fenómenos de poluição atmosférica e formulação de estratégias de melhoria da qualidade do ar, do conhecimento das emissões atmosféricas de uma dada região, apresentam-se, de seguida, as emissões para o concelho de Estarreja, de acordo com os dados facultados pela APA para os anos de 2003, 2005, 2007, 2008.

Através da análise da Figura 14 podemos verificar a evolução dos vários poluentes ao longo dos 4 anos analisados. De uma maneira geral, a tendência é coincidente com a verificada a nível nacional, como se verifica na Figura 2. Contudo para o NH_3 esta tendência não se verifica, apresentado um acréscimo de cerca de 8% que poderá ser devido à existência no CQE de uma unidade industrial que utiliza como matéria-prima o NH_3 para produção de ácido nítrico.

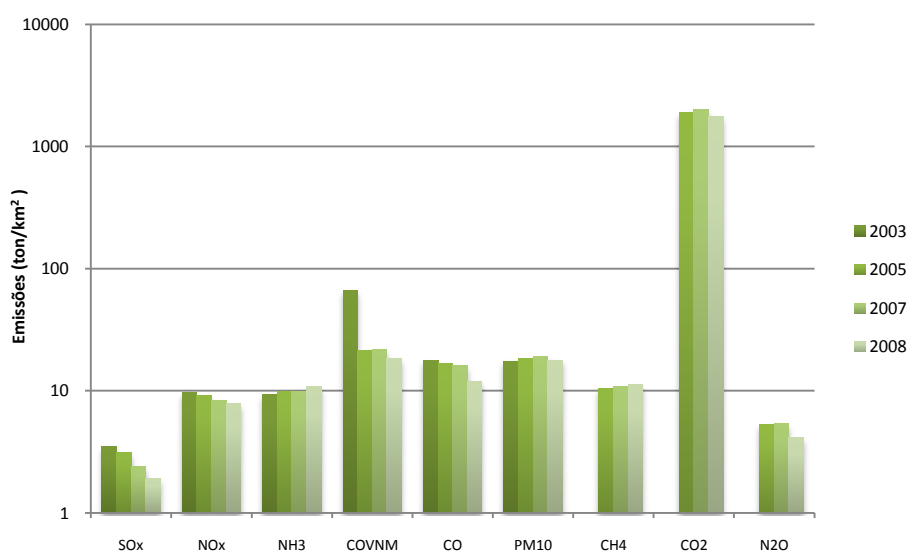


Figura 14 – Inventários de emissões do concelho de Estarreja (Fonte: APA)

Para além da análise dos totais de emissões do concelho de Estarreja, foi realizada também uma pesquisa/análise sectorial das emissões, que reporta ao inventário de emissões do ano de 2008. Na Figura 15 estão representados o peso de cada actividade no valor total de emissões por poluente em Estarreja no ano de 2008.

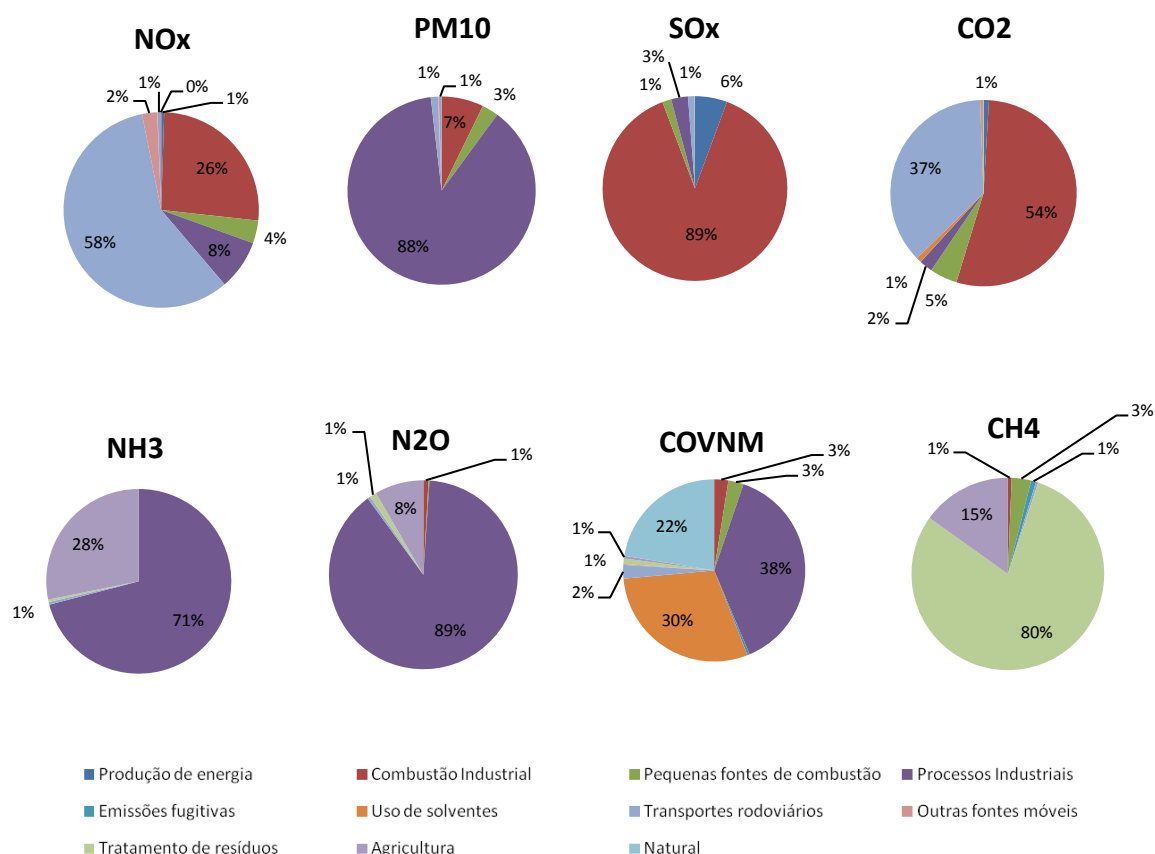


Figura 15 – Emissões de NO_x, PM₁₀, SO_x, NH₃, N₂O e COVNM por sector de actividade no concelho de Estarreja (Fonte: URL 2)

A análise da figura anterior permite-nos verificar que as actividades industriais contribuem em grande escala para a emissão de poluentes na atmosfera, representando cerca de 80% do total de emissões geradas no concelho de Estarreja em 2008.

Para as PM₁₀, SO₂ e N₂O, as emissões com origem na indústria foram as que tiveram maior peso, representando 95%, 92% e 89%, respectivamente. Nas emissões de NH₃ os “Processos Industriais” representam 71% ficando a “Agricultura” com 28% do total de emissões. No caso do NO₂ as emissões foram oriundas principalmente do “Transporte rodoviário” (58%), “Combustão Industrial” (26%) e dos “Processos Industriais” (8%). No entanto, no CO₂, a “Combustão Industrial” contribuiu com 54% e o “Transporte Rodoviário” com 37% do total de emissões inventariadas em 2008.

Nas emissões do COVNM, os “Processos Industriais” e o “Uso de Solventes” representaram 68%, tendo as emissões com origem “Natural” contribuído com 22%. Para

o CH₄, 80% das emissões foram originadas no “Tratamento de resíduos” e 15% na “Agricultura”.

3.6. Estações da qualidade do ar

Em Estarreja foram mantidas duas estações de qualidade do ar até 2005. Actualmente apenas uma se encontra activa, estando localizada a Sul do complexo industrial de Estarreja. Na Figura 16 estão representadas as estações da qualidade do ar de Estarreja, a que se encontra activa (Teixugueira) e a inactiva (Avanca).

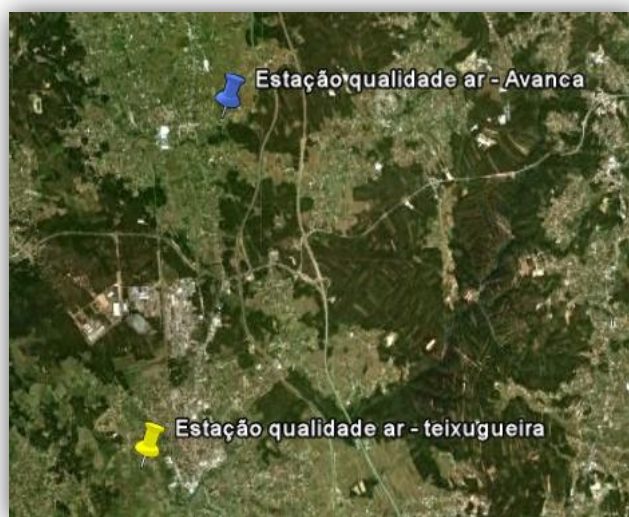


Figura 16 – Localização das estações de qualidade do ar de Estarreja (presente e passado)

A estação de monitorização da qualidade de Avanca, encontrava-se localizada a norte do complexo industrial de Estarreja e foi desactivada a 13/04/2005. Era caracterizada como sendo uma estação rural de fundo. A estação de monitorização da Teixugueira, ainda em funcionamento, tem a sua localização a sul do complexo industrial e é classificada, quanto ao tipo de ambiente, como suburbana, sofrendo influência industrial. Ambas as estações estavam incluídas na zona de influência de Estarreja (Figura 3). Actualmente esta zona abrange apenas uma estação, a da Teixugueira, estando a sua gestão a cargo da CCDR da região centro.

Na Tabela 8 estão sumarizadas as características das estações.

Tabela 8 – Estações de qualidade do ar de Estarreja (presente e passado)

Estação	Classificação	Altitude (m)	Início de funcionamento	Fim de funcionamento	Poluentes				
					SO ₂	NO _x	O ₃	PM10	PM2,5
Teixugueira	Industrial	20	01-05-1990	Em funcionamento	✓	✓	✓	✓	✓
Avanca	Rural de fundo	26	01-01-1985	13-04-2005	✓	✓	✓	✓	✓

4. Monitorização da qualidade do ar em Estarreja

A avaliação da qualidade do ar realizada com o presente estudo tem como intuito a análise do impacto que as alterações na qualidade do ar possam apresentar na saúde da população do concelho de Estarreja. Para tal, neste capítulo, é realizada uma análise à tendência verificada para cada poluente e são averiguadas as excedências registadas durante o período de estudo tendo como base de comparação a legislação actualmente em vigor.

4.1. Recolha e análise de dados

Para o desenvolvimento deste trabalho foram recolhidos da base de dados – QualAr (www.qualar.org), os valores das concentrações dos poluentes medidos nas estações da Teixugueira e Avanca. Foram considerados os dados validados compreendidos no intervalo de tempo de 2000 a 2009, para a estação da Teixugueira, e de 2000 a 2004 para a estação de Avanca.

De forma a perceber o comportamento de cada estação, foi realizada uma análise do perfil diário médio ao longo dos anos em estudo. Segundo Oke (1987), a variação temporal da qualidade do ar pode apresentar uma componente cíclica, resultante da combinação da variação das emissões com a das condições atmosféricas. Na Figura 17 apresentam-se os perfis diários médios para os vários poluentes para o período de estudo de cada uma das estações.

No caso das PM_{2,5}, não foi possível realizar uma comparação entre as duas estações devido ao facto de a estação de Avanca ter sido desactivada no início de 2005 e de apenas se ter iniciado a análise deste poluente nesta estação em 2003. Nos anos de 2003 e 2004 os dados não foram suficientes para efectuar a análise.

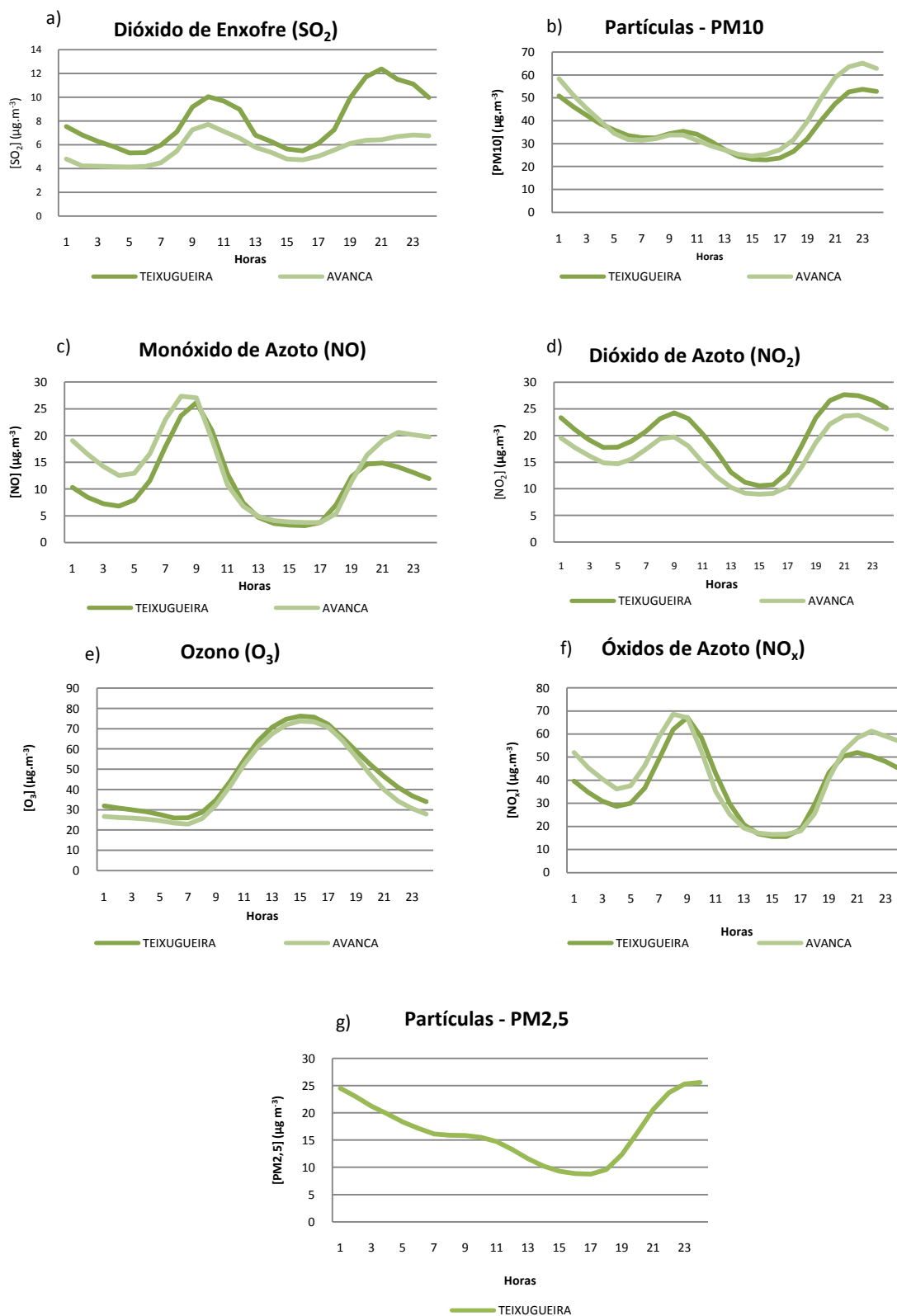


Figura 17 – Variação diária das médias horárias de SO₂ (a), PM10 (b), NO (c), NO₂ (d), O₃ (e) NO_x (f) e PM2,5 (g) entre os anos de 2000 e 2009 para a Teixugueira e de 2000-2004 para Avanca (Fonte: URL 1)

Da observação da Figura 17 constata-se que os perfis para os poluentes analisados são semelhantes para as duas estações. As maiores diferenças verificam-se para o NO_x e para o SO_2 , mas não ultrapassam os $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. Tendo isto em conta, considera-se que os dados da estação da Teixugueira, actualmente em actividade, são representativos para a avaliação da qualidade do ar no concelho de Estarreja, sendo, por isso, apenas estes os usados para o diagnóstico da qualidade do ar.

Para o SO_2 (Figura 17a) o perfil diário apresenta dois picos, no início e final do dia, sendo o que apresenta maior concentração registado por volta das 21:00 horas, na estação da Teixugueira. O SO_2 é considerado um poluente de origem industrial, embora o tráfego rodoviário também contribua para a sua emissão (APA, 2009) através dos veículos com motor a gasóleo. Este facto pode estar na origem dos máximos registados para esse poluente no final do dia.

O perfil das PM_{10} (Figura 17b) demonstra a existência de um pico ligeiro da parte da manhã entre as 9:00 e as 11:00 horas e outro bastante acentuado durante a noite entre as 21:00 e as 24:00 horas. O perfil diário de PM_{10} revela a presença de outras fontes emissoras de partículas, para além do tráfego, responsáveis pelos elevados valores registados durante o período nocturno. Os valores baixos de PM_{10} observados de dia podem ser justificados pela maior dispersão de poluentes existente durante o período diurno (Monteiro, 2007).

O comportamento do NO_x ($\text{NO}_2 + \text{NO}$) (Figura 17c, d, e f) ao longo do dia apresenta, à semelhança dos anteriores dois poluentes, um da parte da manhã, entre as 8:00 e as 10:00 horas, e outro no final do dia, entre as 19:00 e as 21:00 horas. Sendo o NO_x resultante em grande percentagem do tráfego automóvel, é de esperar que estes picos sejam coincidentes com horários em que esse é mais elevado, nas horas de ponta.

A estação de Teixugueira apresenta concentrações de ozono muito elevadas durante o período da tarde, comprovam a sua formação fotoquímica mas também sugerem a presença do transporte de precursores de O_3 , e relativamente baixas durante a noite, indiciando um provável consumo de O_3 pelo NO emitido por fontes industriais em operação (Monteiro, 2007). Pela observação da Figura 17e) verifica-se a existência de um

padrão, apresentando o pico único entre as 13:00 e as 16:00 horas, com o máximo da concentração registado às 14:00 horas.

Os poluentes analisados (com excepção do O_3 que é um poluente secundário) apresentam dois máximos de concentração: entre as 8:00 e as 10:00 horas e entre as 19:00 e as 22:00 horas.

4.2. Análise de tendências

Sendo o objectivo do presente estudo a análise do impacto das alterações da qualidade do ar na população do concelho de Estarreja, serão analisados somente os poluentes legislados para a protecção da saúde, nomeadamente: SO_2 , NO_2 , O_3 , PM_{10} e $PM_{2,5}$.

De forma a perceber a evolução das concentrações de cada poluente no meio ambiente, tornou-se necessária a elaboração de gráficos de tendências com a representação das médias diárias dos poluentes e a tendência verificada durante o período de estudo — Figura 18.

Da análise da Figura 18 verifica-se que o NO_2 , o SO_2 e as PM_{10} (Figura 18 a, b, d) não apresentam, ao longo do período de estudo, variações nas tendências, tendo tido um comportamento aproximado ao longo dos anos. No entanto, o O_3 (Figura 18c) apresentou uma tendência ligeiramente crescente no período de 2000 a 2009.

Para a análise de tendências das $PM_{2,5}$ (Figura 18e) foram considerados somente os valores registados a partir do início de 2005. Apesar das $PM_{2,5}$ apresentarem uma tendência decrescente acentuada, os valores contemplados para a elaboração desta análise reportam somente a 5 anos, podendo estes não ser suficientes para este tipo de estudo.

Ao analisar a distribuição ao longo dos anos das concentrações de $PM_{2,5}$, verifica-se uma certa sazonalidade nos valores, tendo-se registado os valores mais elevados no Inverno. Para as PM_{10} , apesar de não ser tão evidente, também se verificam valores superiores no Inverno havendo, no entanto, alguns picos no Verão.

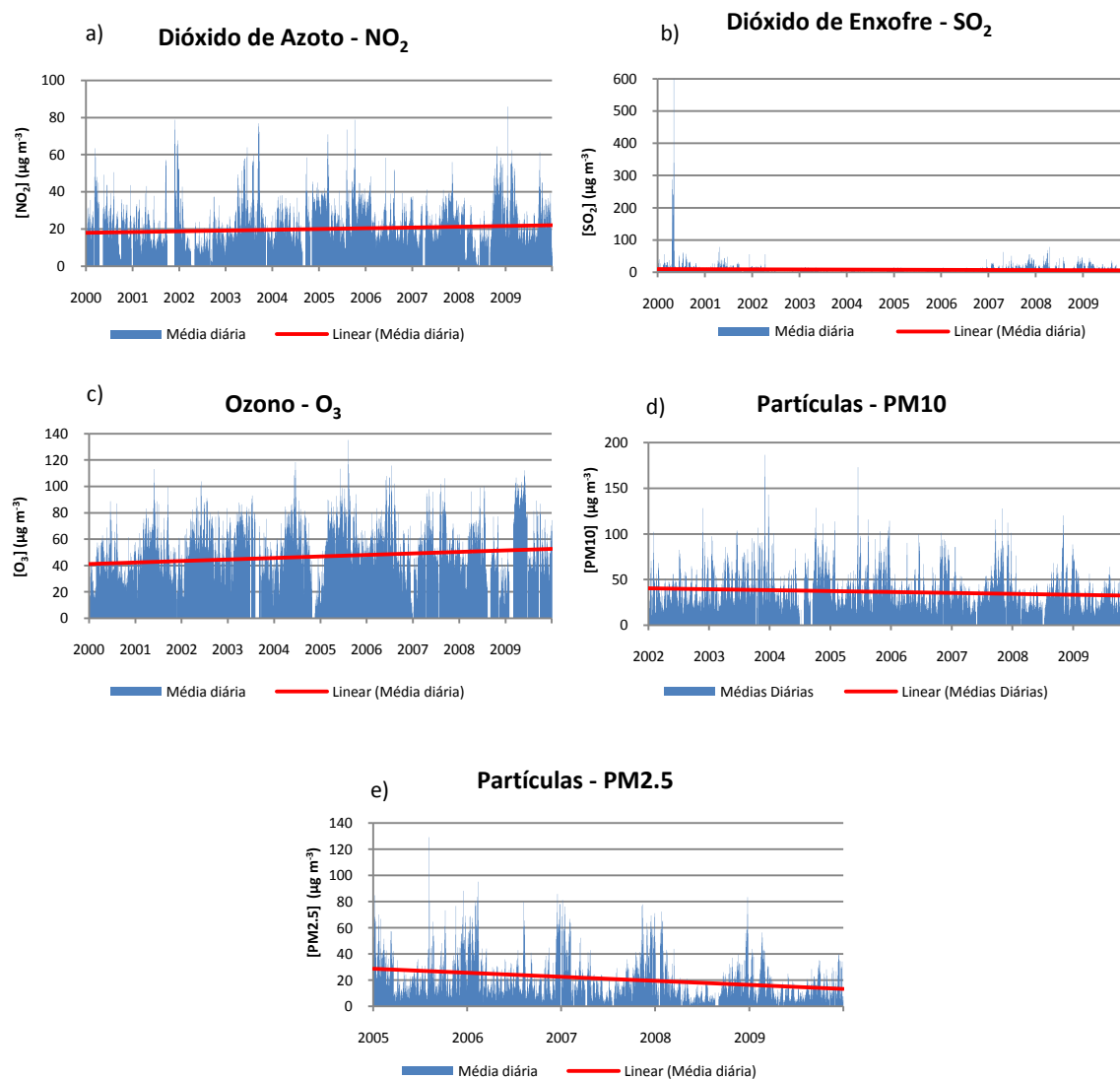


Figura 18 – Representação das médias diárias e linha de tendência ao longo dos anos em estudo para o NO_2 (a), SO_2 (b), $\text{PM}_{2,5}$ (e), PM_{10} (d) e O_3 (c)

No caso do O_3 , a sazonalidade é inversa à registada nas partículas, sendo o Verão a época do ano em que as concentrações atingem valores mais elevados, tal como seria de esperar.

No gráfico referente ao SO_2 pode verificar-se que o ano de 2000 foi um ano atípico, havendo valores para médias diárias na ordem dos $600 \mu\text{g.m}^{-3}$, valores esses muito superiores aos observados nos restantes anos. Também as PM_{10} apresentam dois picos que se evidenciam no gráfico da Figura 18: um em 2004 e um em 2005.

De forma a perceber melhor a variabilidade dos valores das concentrações dos poluentes sujeitos a este estudo, foram elaborados gráficos *boxplot*, representados na Figura 19, que permitem observar a distribuição dos valores ao longo do período estudado.

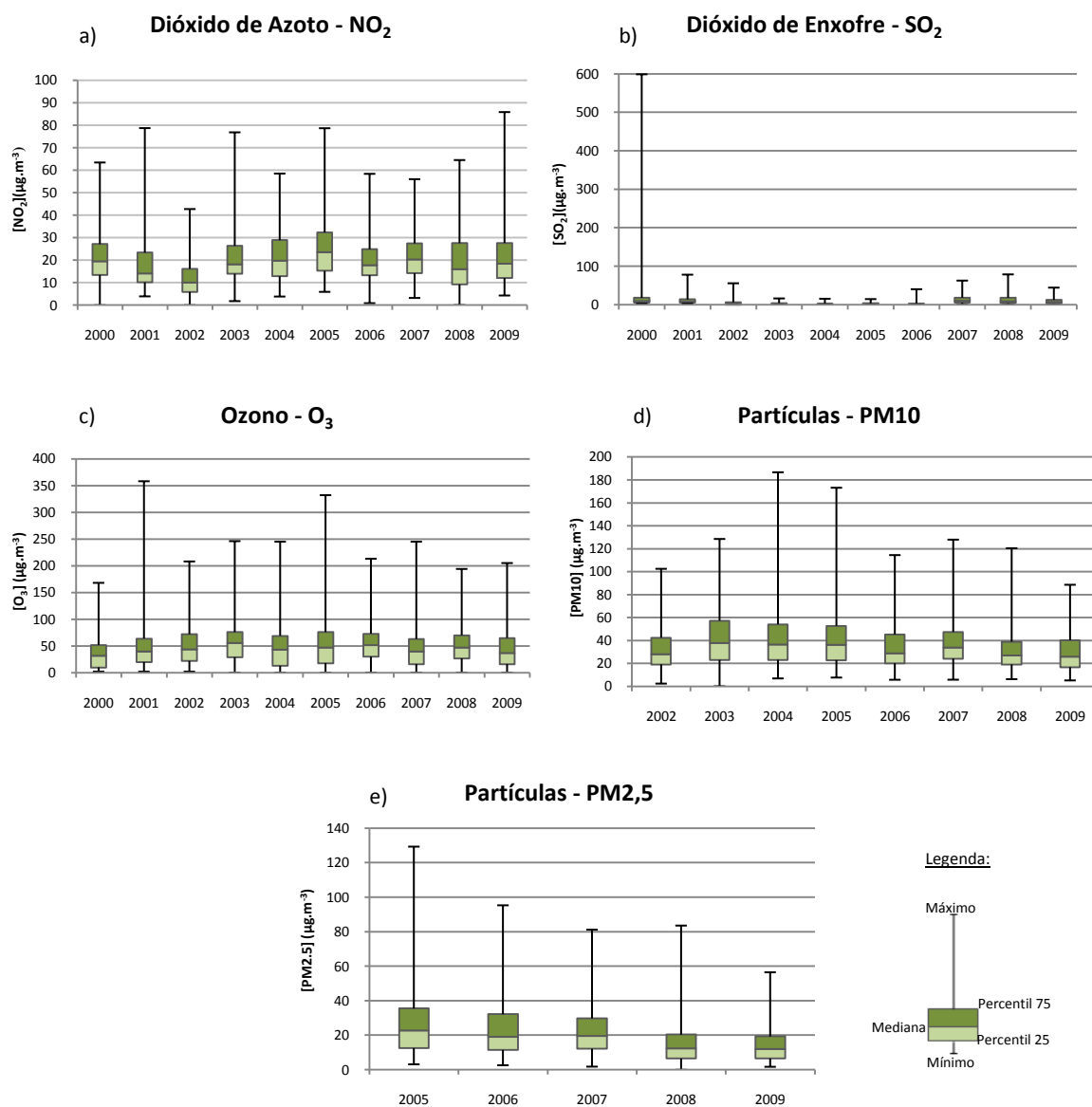


Figura 19 – *Boxplot* das médias diárias para o NO_2 (a), SO_2 (b), $\text{PM}_{2,5}$ (e), PM_{10} (d) e das médias horárias para o O_3 (c)

Através da análise dos gráficos da Figura 19 verifica-se que para o NO_2 (Figura 19a) o ano de 2005 foi o ano em que se verificaram valores médios diários mais elevados.

No SO₂ (Figura 19b), e à semelhança do que foi observado anteriormente na análise das tendências, o ano de 2000 apresenta um valor máximo bastante elevado comparativamente com os registados nos outros anos.

No caso das PM_{2,5} (Figura 19e) o gráfico boxplot consolida a análise feita anteriormente notando-se tendencialmente um decréscimo ao longo dos 5 anos de análise, assim como uma maior aproximação dos valores das concentrações recolhidas.

Para as PM₁₀ (Figura 19d), foi no ano de 2003 que se verificaram valores mais elevados exibidos pela mediana e pelo percentil 75. No entanto, nos anos de 2004 e 2005, foram registados os valores das médias diárias máximos.

O O₃ (Figura 19c) apresenta uma tendência relativamente linear ao longo do período de análise não sendo possível aferir a tendência verificada no gráfico da Figura 18, isto pode dever-se ao facto desta ser uma análise de variabilidade de valores considerando parâmetros estatísticos (mediana, percentis 25 e 75, máximo e mínimo) diferentes dos ponderados na análise de tendências (média). No entanto, nos anos de 2001 e de 2005 foram atingidos os valores horários máximos.

4.3. Análise de excedências

Para a verificação do cumprimento da legislação, os parâmetros estatísticos foram calculados de acordo com os valores limite definidos para cada poluente tendo em conta os objectivos de qualidade de dados, nomeadamente a taxa mínima de recolha de dados (eficiência). Apesar desta taxa mínima, de acordo com a Directiva 2008/50/CE⁴ e Decisão 2001/752/CE, ser de 90% ou 85% (nos casos em que não é tida em conta a perda de dados decorrente de acções de manutenção e calibração), neste trabalho será considerada uma taxa de eficiência mínima de 75% para que não sejam afastados anos/poluentes que apresentem uma baixa eficiência, desprezando informação que se revela importante quando se pretende efectuar uma avaliação de longo prazo. Na Tabela

⁴ Transposta pelo Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro

9 estão representadas as eficiências obtidas para os poluentes que serão objecto deste trabalho para o intervalo de tempo de 2000 a 2009.

Tabela 9 – Eficiência dos dados para os poluentes e anos em análise

Anos	PM _{2,5} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	SO ₂ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	NO ₂ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	O ₃ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
2000	0,00%	96,51%	0,00%	80,23%	97,87%
2001	0,00%	91,89%	0,00%	79,91%	94,65%
2002	0,00%	92,68%	80,84%	91,06%	95,42%
2003	83,48%	93,78%	94,45%	94,24%	78,82%
2004	79,95%	85,64%	86,04%	86,04%	90,29%
2005	99,60%	99,28%	99,59%	99,74%	99,60%
2006	98,62%	97,89%	98,61%	98,01%	98,39%
2007	91,34%	93,41%	94,65%	92,00%	90,75%
2008	92,32%	73,47%	92,10%	89,95%	85,08%
2009	95,89%	95,32%	95,99%	96,44%	80,67%

O diagnóstico da qualidade do ar apresentado neste ponto refere-se à verificação da conformidade legal para cada poluente, no âmbito do cumprimento dos valores limite, valores limiar e valores alvo, definidos na legislação para a protecção da saúde humana, em cada ano civil.

No tratamento estatístico dos dados referentes a cada poluente foram determinadas as concentrações médias horárias, diárias, médias de 8 horas consecutivas e anuais, consoante o parâmetro em análise e à luz da legislação em vigor (DL n.º 102/2011), cuja informação se encontra resumida na Tabela 6 no capítulo 2 deste trabalho.

Dióxido de Azoto — NO₂

A abordagem definida pela legislação para o NO₂ considera como parâmetros de análise as médias horárias e a média anual. Assim, na Figura 20, encontram-se representadas as médias horárias máximas de NO₂, assim como o valor limite horário (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) estabelecido para protecção da saúde humana. Estes valores são os registados na estação da Teixugueira nos anos em estudo.

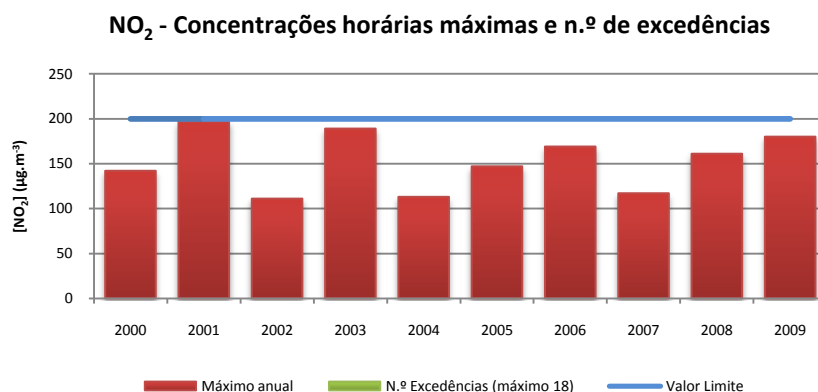


Figura 20 – Máximos horários de NO₂ comparados com valor limite, n.º de excedências.

Durante o período de estudo para o poluente NO₂ não foram registados valores superiores ao valor limite legislado, não se verificando desta forma a análise do parâmetro relativo ao número de excedências permitidas que, para este poluente seria, de 18.

Relativamente à avaliação de longo prazo, estão representadas na Figura 21 as médias anuais para o intervalo de tempo de 2000-2009 e o valor limite anual (40 µg/m³) permitido.

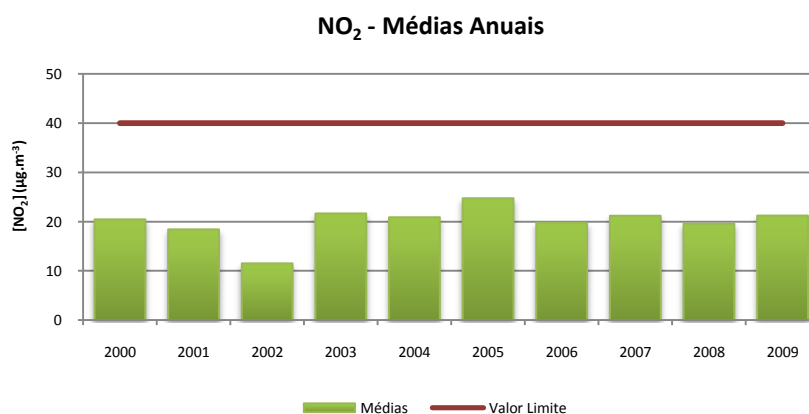


Figura 21 – Médias anuais de NO₂ comparadas com o valor limite

Mais uma vez se verifica não ter havido excedências ao valor limite anual a registar em qualquer dos anos analisados.

Relativamente ao limiar de alerta ($400 \mu\text{g.m}^{-3}$, medidas em 3 horas consecutivas) não foram também registadas excedências durante o período de 2000-2009.

Para este poluente e durante o período de análise não foi assinalada qualquer situação de incumprimento à legislação em vigor, encontrando-se todos os valores registados dentro dos valores limite permitidos para a estação da Teixugueira.

Dióxido de Enxofre — SO_2

Para o SO_2 a legislação define as médias horárias e diárias como alvo de estudo, com o objectivo da protecção da saúde humana. Na Figura 22 estão representados os valores máximos horários identificados em cada ano assim como o valor limite definido para este poluente ($350 \mu\text{g.m}^{-3}$) e o n.º de excedências que não deve ultrapassar as 24 vezes anuais.

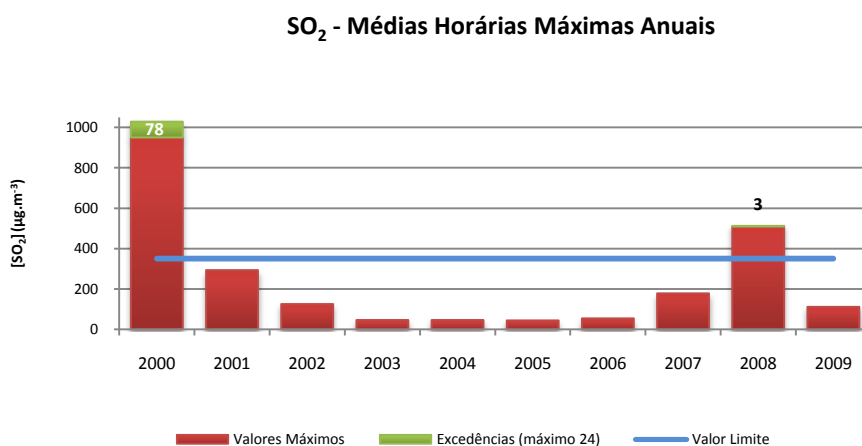


Figura 22 – Máximos horários de SO_2 comparadas com o valor limite, n.º de excedências

Durante o período de análise ocorreram ultrapassagens ao valor limite horário nos anos de 2000 e de 2008, tendo-se verificado, para o ano de 2000, 78 excedências ao valor limite horário estabelecido legalmente. No ano de 2008 foram 3 as excedências ao valor limite horário. À luz da legislação actual, no ano de 2000, o poluente SO_2 registou um incumprimento legal, visto ter ultrapassado as 24 excedências anuais permitidas. Contudo, nos restantes anos os valores médios registados situaram-se significativamente abaixo do valor limite.

Na Figura 23 ilustram-se as médias diárias máximas para o SO₂, o valor limite diário (125 µg/m³) e o número de excedências permitidas (3 por ano civil).

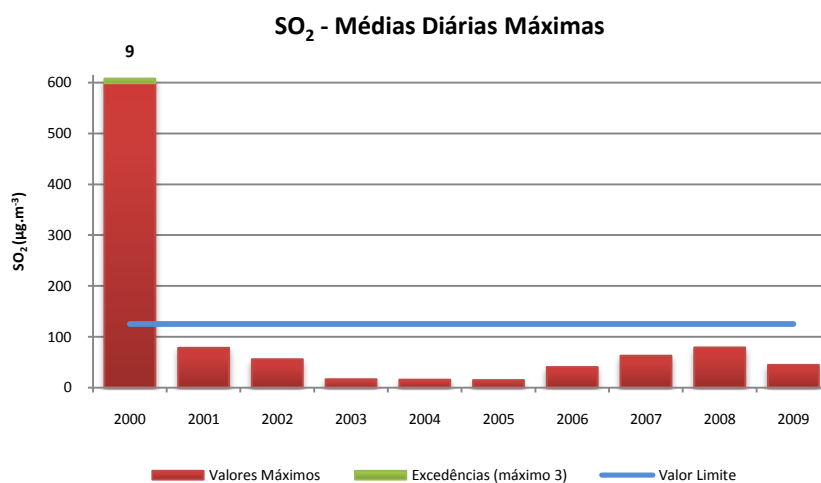


Figura 23 – Máximos diários de SO₂ comparadas com o valor limite, n.º de excedências

Mais uma vez o ano de 2000 destaca-se relativamente aos restantes em estudo, sendo o único ano em que houve excedências ao valor limite diário, totalizando 9 vezes, número de excedências superior ao permitido legalmente (3 vezes por ano).

Na Figura 24 estão representadas as ultrapassagens ao limiar de alerta – valor da concentração superior a 500 µg.m⁻³ verificado em 3 horas consecutivas – para o SO₂.

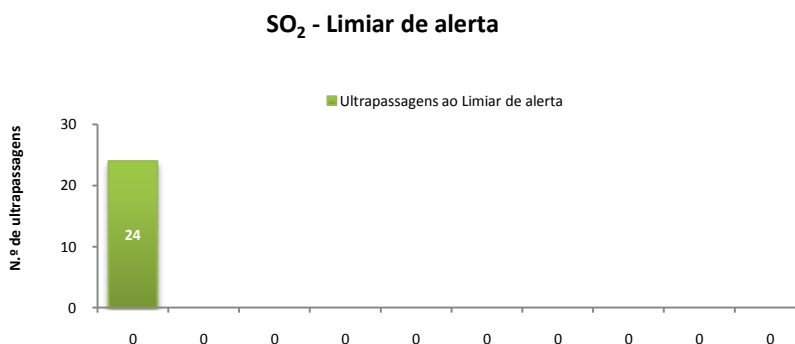


Figura 24 – Limiar de alerta para o SO₂

No ano de 2000 o limiar de alerta para o SO_2 foi excedido 24 vezes. No ano de 2008, apesar das ultrapassagens ao valor limite horário, apenas se verificou um caso em que a média horária foi superior a $500 \mu\text{g.m}^{-3}$, não se registando nenhuma situação cuja ultrapassagem fosse superior a 3 horas.

O SO_2 é um poluente que tem como principal origem as actividades industriais. A proximidade da estação da Teixugueira relativamente ao complexo químico, justifica as elevadas concentrações e as ultrapassagens em alguns episódios. O ano de 2000 foi particularmente crítico registando-se um número de excedências demasiado elevado.

Ozono — O_3

A legislação define para o O_3 uma abordagem considerando como parâmetros de análise os valores horários, em termos de limiar de informação e limiar de alerta, as médias octo-horárias do dia (valor alvo) e o valor máximo das médias octo-horárias no ano (objectivo a longo prazo).

O valor alvo é um valor indicativo de cumprimento obrigatório a partir de 2010. No entanto, como o objectivo deste trabalho passa pela análise evolutiva dos poluentes ao longo do período de estudo e essa está a ser realizada tendo em conta a legislação actual, foi efectuado o cálculo do valor alvo para todos os anos de 2000 a 2009. Na Figura 25 estão representadas os máximos anuais das médias octo-horárias, o valor alvo ($120 \mu\text{g.m}^{-3}$) e as excedências ao valor alvo verificadas por cada ano civil estudado, sendo 25 o valor máximo de excedências permitido.

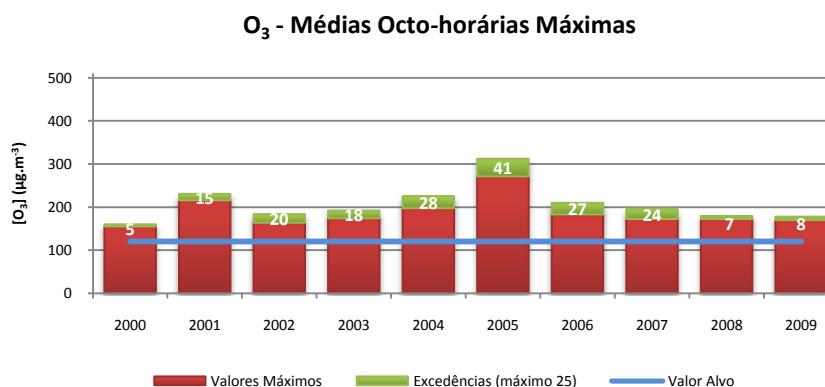


Figura 25 – Máximos médias octo-horárias de O_3 comparadas com o valor alvo, n.º de excedências

Ao analisar a Figura 25 verifica-se que em todos os anos foi ultrapassado o valor alvo. Contudo só nos anos de 2004, 2005 e 2006 foram superadas o número de excedências permitido. Nestes três anos foram verificados incumprimentos ao definido na legislação, tendo sido o ano de 2005 o mais crítico relativamente a este poluente ultrapassando 41 vezes o valor alvo.

Para além do valor alvo, é importante efectuar uma análise às ultrapassagens aos limiares horários de informação ($180 \mu\text{g.m}^{-3}$) e de alerta ($240 \mu\text{g.m}^{-3}$) que se encontram ilustradas na Figura 26.

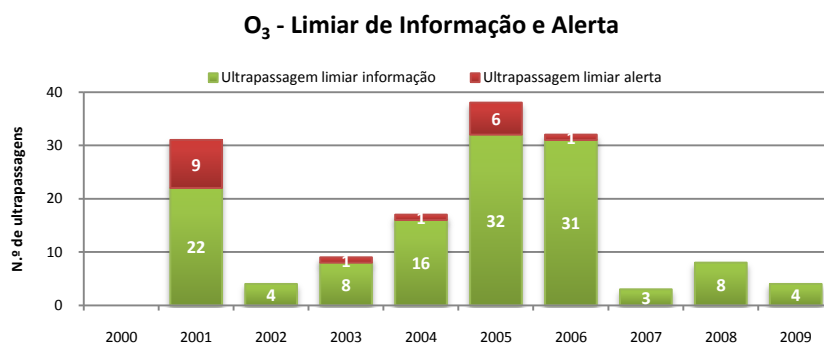


Figura 26 – N.º de ultrapassagens ao limiar de informação e alerta para o O₃

Da observação da Figura 26, constata-se que, em todos os anos com excepção do 2000, foram verificadas ultrapassagens aos limiares de informação e alerta. O ano de 2005 foi o que registou um maior número de ultrapassagens a ambos os limiares seguido do ano de 2006 e 2001.

O ano de 2005 (Martins *et al.*, 2009) foi particularmente crítico em termos de ocorrência de incêndios florestais em Portugal, especificamente na região norte e centro, sendo esses responsáveis pela emissão de diversos poluentes para a atmosfera, com efeitos na qualidade do ar. O fumo resultante da queima da biomassa contém um elevado número de produtos químicos, incluindo partículas e compostos gasosos, designadamente matéria particulada, o CO e CO₂, os COV's, o NO_x, óxido nitroso (N₂O) e amoníaco (NH₃) (Levine, 1998 ; Martins *et al.*, 2009). Os COV's, o NO_x e o CO são precursores de ozono que na presença de elevadas temperaturas e radiação solar, formam, através de reacções

químicas, o ozono troposférico. O ano de 2005 foi um ano cujas condições meteorológicas foram propícias à formação/actividade fotoquímica (Monteiro, 2007).

Relativamente ao objectivo a longo prazo (OLP), referente ao máximo das médias diárias octo-horárias cujo valor limite é $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ – Figura 27 – só no ano de 2005 foi excedido o valor legislado.

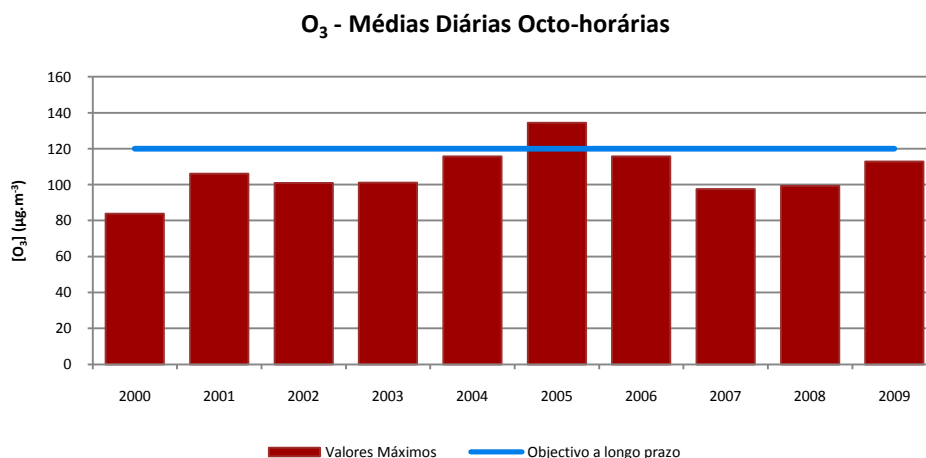


Figura 27 – Máximos das médias diárias octo-horárias de O₃ comparadas com o objectivo a longo prazo

No entanto esta análise tem carácter indicativo, tendo em conta que a legislação actual não define a data limite para observância do objectivo de longo prazo para o O₃.

Partículas — PM₁₀

As partículas em suspensão com diâmetro inferior a $10 \mu\text{m}$ podem ter origem antropogénica ou estar associadas a fenómenos naturais. De destacar duas fontes naturais com bastante expressividade em território nacional: as emissões naturais das poeiras provenientes dos desertos do Norte de África e as emissões resultantes dos incêndios florestais (Lameiras, 2009b).

No âmbito da qualidade do ar, as PM₁₀ são analisadas de acordo com as médias diárias e anuais das concentrações registadas. Na Figura 28 apresentam-se os valores máximos diários recolhidos em cada ano civil comparados com o valor limite estabelecido ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e o número de ultrapassagens ao valor limite diário verificadas para cada ano, não devendo este ser superior a 35 por ano.

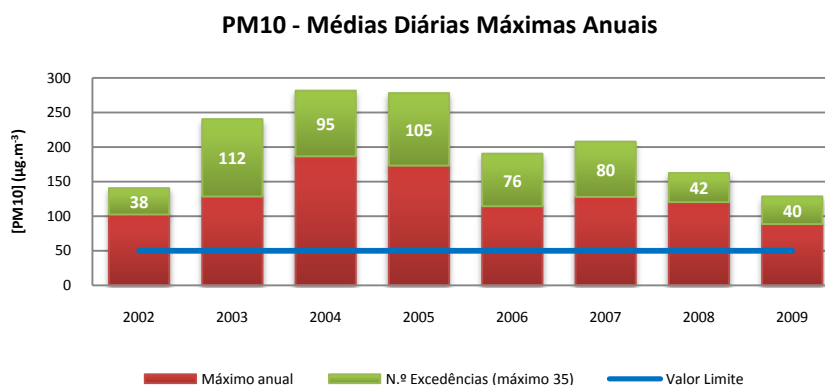


Figura 28 – Máximas diárias de PM10 comparadas com o valor limite, n.º de excedências

Da análise da figura anterior constata-se que, para este poluente, em todos os anos de análise ocorreram ultrapassagens ao valor limite diário, com número de excedências superior às 35 permitidas por ano. À semelhança dos outros poluentes, os anos de 2003 e 2005 foram os mais críticos para este poluente.

Para além da análise dos valores diários, a avaliação das PM10 deve compreender também uma análise de longo prazo através de médias anuais. A Figura 29 representa as médias anuais e o respectivo valor limite que não deverá exceder os $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ no ano.

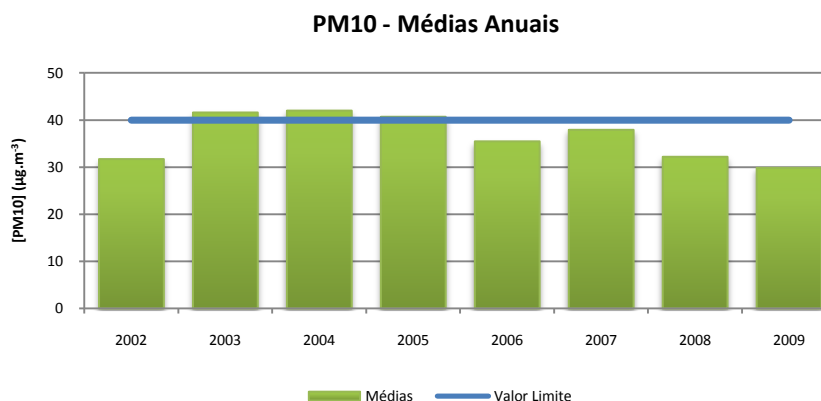


Figura 29 – Médias anuais de PM10 comparadas com o valor limite

Analisando a Figura 29 verifica-se que os anos em que se registaram ultrapassagens ao valor limite anual foram os 2003, 2004 e 2005, tendo sido no de 2004 que ocorreram em

maior número. A partir do ano de 2007 denota-se um ligeiro decréscimo nas médias anuais assim como nas médias diárias e excedências às mesmas.

Partículas — PM_{2,5}

Para as partículas em suspensão com diâmetro inferior a 2.5 μm não estavam definidos os valores limite na legislação que se encontrava em vigor até à publicação do DL n.º 102/2010, representando a transposição da nova directiva quadro da qualidade do ar. No âmbito desta directiva foi definido um valor alvo para cumprimento em 2010 que irá tornar-se valor limite ($25 \mu\text{g.m}^{-3}$) em 2015. Foi ainda definido um valor limite indicativo para 2020 de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$, a ser revisto em 2013.

Com o objectivo de percepcionar a evolução das PM_{2,5} ao longo do tempo de estudo, e à semelhança dos outros poluentes, será feita uma análise das PM_{2,5} à luz da legislação em vigor.

Na Figura 30 representa-se a evolução, para o período 2005-2009, das médias anuais de PM_{2,5} comparativamente com o valor limite ($25 \mu\text{g.m}^{-3}$).

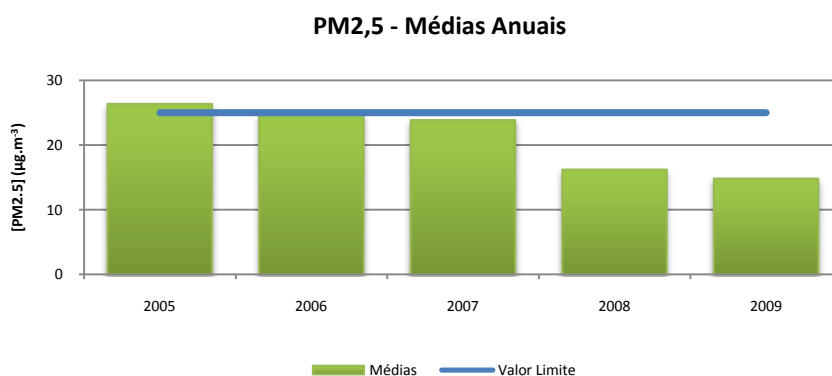


Figura 30 – Médias anuais de PM_{2,5} comparadas com o valor limite

No ano de 2005 verificou-se uma ultrapassagem ao valor limite anual e no ano de 2006, apesar de não ter superado o valor limite, a média resultou num valor muito próximo dos $25 \mu\text{g.m}^{-3}$. A partir do ano de 2005 verifica-se uma tendência decrescente para este poluente, contudo o n.º de anos analisados não são suficientes para tirar conclusões sobre esta tendência, como já referido anteriormente.

4.4. Análise do Índice de Qualidade do Ar

O índice de qualidade do ar (IQAr) de uma determinada zona ou aglomeração resulta da média aritmética, calculada para cada um dos poluentes medidos em todas as estações instaladas nessa zona ou aglomeração. Os valores assim determinados são comparados com as gamas de concentrações associadas a uma escala de cores (Tabela 5), sendo os piores poluentes responsáveis pelo índice global (Figueiredo e Sousa, 2010).

Em 2009 foi publicado um relatório elaborado pela CCDR-centro (Lameiras, 2009b), no qual era efectuada uma análise da situação da qualidade na Região Centro. Com o intuito de compreender de forma qualitativa a evolução do estado da qualidade do ar na zona de influência de Estarreja, na Figura 31 encontram-se representados o número de dias obtidos para cada uma das classes do IQAr nos anos de 2003 a 2008.

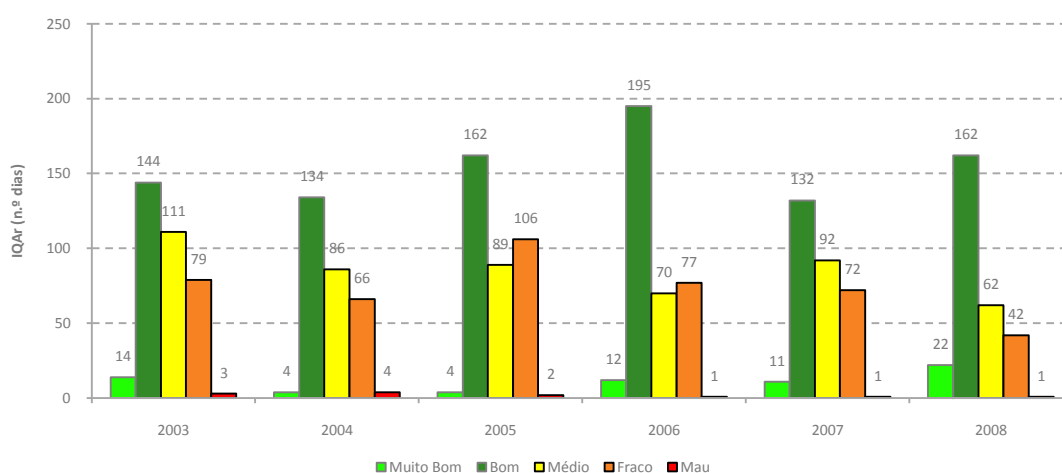


Figura 31 – Índice da qualidade do ar na Zona de Influência de Estarreja entre 2003 e 2008 (Fonte: Lameiras, 2009b)

Da análise do gráfico anterior pode verificar-se que a classe de “Bom” é a mais representativa em todos os anos em análise, apresentando em termos percentuais valores entre os 41-56%. Pode ainda verificar-se que, ao longo do período em estudo, o número de dias com a classificação de “Fraco” e “Mau” tem vindo a decrescer, tendo-se verificado um ligeiro aumento dos dias com IQAr “Muito Bom” no último ano analisado.

Na Figura 32 está representado o contributo percentual de cada classe do IQAr para as zonas e aglomerações da região centro entre 2003 e 2008.

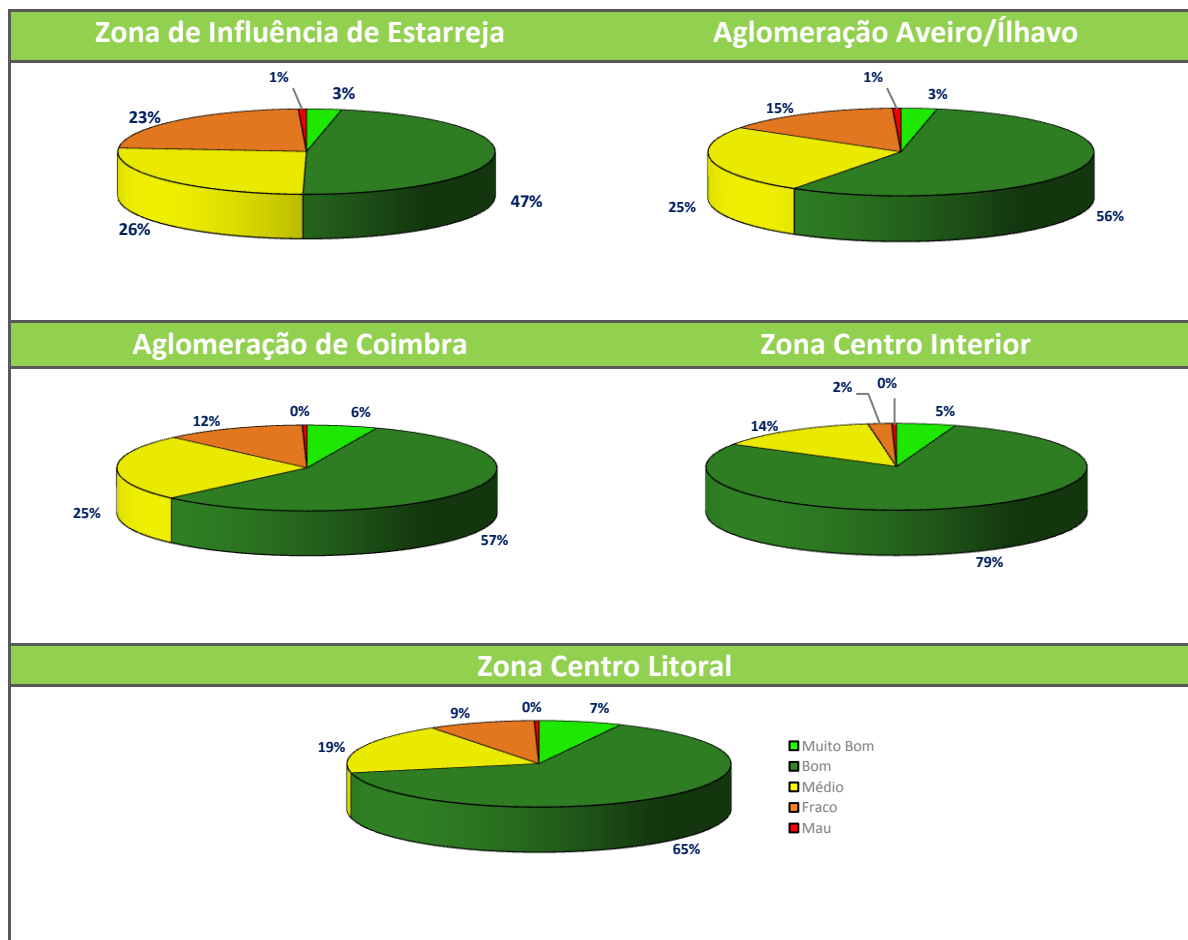


Figura 32 – Taxa percentual do índice da qualidade do ar nas Zonas/Aglomerações da Região Centro, no período 2003-2008 (Fonte: Lameiras, 2009b)

Ao observar os gráficos da Figura 32 verifica-se que a zona de Influência de Estarreja, comparativamente às outras zonas/aglomerações da Região Centro, é a que apresenta pior qualidade do ar. Regista os maiores valores percentuais de índices “Médios” e “Fracos”, em detrimento dos outros índices que representam uma boa qualidade do ar. Os índices “Muito Bom” e “Bom” representam 3% e 47%, respectivamente, sendo os valores mais baixos registados nas zonas/aglomerações da Região Centro.

Conclui-se assim que dentro da região centro, a zona de influência de Estarreja é a que apresenta pior índice de qualidade do ar, no que se refere ao período de 2003-2008, o que vem reforçar a necessidade deste tipo de estudo e mostrar que há necessidade de medidas de gestão para melhorar a qualidade do ar desta zona (Capítulo 6).

5. Análise de episódios

Durante os anos em estudo (2000-2009) foram seleccionados episódios onde se registaram valores de concentrações elevados, quando comparados com os limites estabelecidos na legislação em vigor (D.L. 102/2010), para cada poluente, na estação de monitorização de qualidade do ar da Teixugueira. Escolheram-se dois episódios para cada poluente, nomeadamente para o SO₂, NO₂, O₃ e PM₁₀. Para as PM_{2,5} não foram identificadas ultrapassagens críticas aos valores definidos no Decreto-Lei.

Com o objectivo de identificar a origem e formação de cada episódio seleccionado foi realizada uma análise de acordo com a metodologia utilizada por Monteiro *et al* (2010). Os valores de concentração do poluente em estudo foram comparados com os dos restantes poluentes, no intervalo de tempo definido, de forma a identificar comportamentos comuns. Foram cruzados os valores das concentrações dos poluentes em estudo e os parâmetros meteorológicos, de forma a melhor compreender as correlações entre os episódios e as condições meteorológicas. Os dados meteorológicos utilizados foram os da estação meteorológica da Universidade de Aveiro, por se tratar do local mais próximo com dados disponíveis, visto a estação meteorológica de Estarreja mencionada no Capítulo 3 já se encontrar desactivada.

A análise foi complementada com uma descrição sinóptica de cada episódio e com a análise das retrotrajectórias das massas de ar. A observação meteorológica das condições sinópticas foi realizada com recurso às cartas sinópticas, com altura geopotencial em 500hPa e pressão à superfície (URL 8). As retrotrajectórias das massas de ar foram obtidas recorrendo à utilização do *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model* (HYSPLIT), desenvolvido pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) *Air Resources Laboratory* (ARL) (Draxler e Rolph, 2011). O HYSPLIT é um sistema completo que calcula trajectórias e campos de dispersão e deposição de partículas e gases e usa dados meteorológicos em grelha, resultantes de análise ou de modelos meteorológicos de previsão (URL 9). Os dados meteorológicos usados neste estudo foram

os do projecto NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*), *reanalysis global*.

Para uma melhor identificação da origem das massas de ar que podem influenciar cada episódio foram calculadas as retrotrajectórias cinemáticas com 3 dias, provenientes de 3 diferentes níveis de altitude (100, 500 e 1000 m AGL) (Monteiro *et al.*, 2010).

De forma a identificar a contribuição de eventos naturais na ocorrência de ultrapassagens ao valor limite nos episódios de PM₁₀ foram analisados dois tipos de eventos naturais: o transporte de poeiras com origem nos desertos Africanos e a emissão de matéria particulada com origem nos fogos florestais que tenham ocorrido próximo da área de estudo. Para tal, recorreu-se às seguintes ferramentas:

- Imagens do modelo BSC-DREAM8b (*Dust REgional Atmospheric Model*), operado pelo *Barcelona Supercomputing Center* (BSC) (URL 10). Os módulos deste modelo incorporam parametrizações das principais fases do ciclo de vida das partículas, tais como a produção, difusão, advecção e remoção e são também considerados os efeitos da distribuição por tamanhos na dispersão dos aerossóis (URL 10). A utilização deste modelo permite analisar qual a distribuição do índice de aerossóis sobre o território nacional e identificar a contribuição das tempestades de poeiras com origem nos desertos africanos nos dias em que se tenham verificado ultrapassagens ao valor limite das partículas (Borrego *et al.*, 2006).
- O índice de aerossóis fornecido pela NASA-TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) (URL 11) que servirá de complemento à análise efectuada com recurso ao modelo BSC-DREAM8b.
- Estatísticas dos incêndios florestais ocorridos nas datas dos episódios e fornecidas pela Autoridade Florestal Nacional (URL 12).

Episódio 1 - SO₂ - de 22/04/2000 a 05/05/2000

No período de tempo que decorreu entre 22 de Abril e 05 de Maio de 2000 foram registados valores muito elevados das concentrações de SO₂. Durante este período verificaram-se vários picos, tendo sido atingido o valor mais elevado, de 950 µg.m⁻³, às 18:00 horas do dia 04 de Maio.

Na Figura 33 estão representadas as concentrações medidas durante o período seleccionado para este episódio para o SO₂ e o O₃. Esta análise comparativa só é realizada tendo em conta estes dois poluentes devido à inexistência de dados relativos a outros compostos.

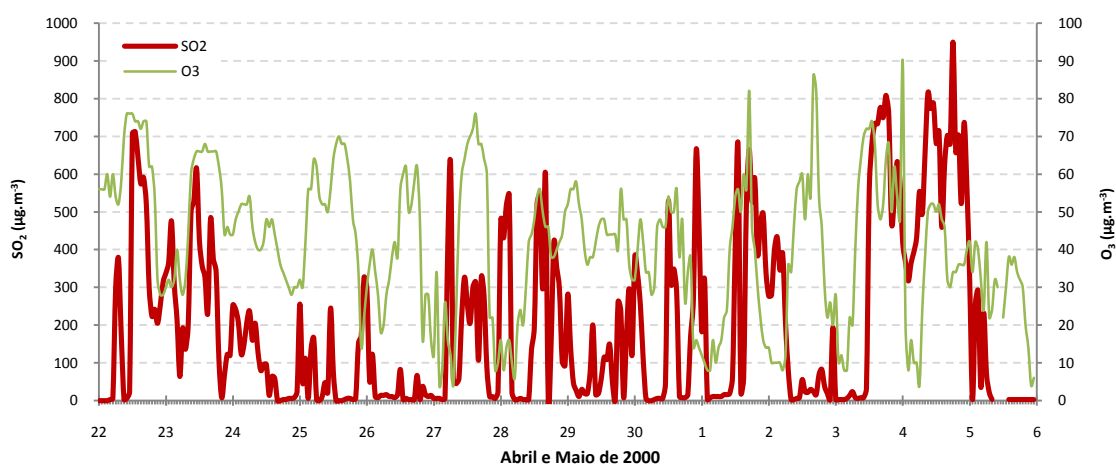


Figura 33 – Concentrações de SO₂ e O₃ monitorizadas entre 22 de Abril e 5 de Maio de 2000

Os dois poluentes analisados apresentam um comportamento relativamente semelhante, verificando-se uma certa simultaneidade dos picos do SO₂ e O₃ em alguns dias do episódio, nomeadamente no dia 22, 23 e 24 de Abril, 03 e 04 de Maio, indicando a possibilidade de os máximos atingidos para o SO₂ não terem uma origem apenas local, mas podendo ter sido sujeitos a processos de transporte. No entanto, dada a não existência de registos para outros poluentes primários, para o período em análise, de forma a efectivar a comparação realizada, torna-se difícil a confirmação deste facto. Nos restantes dias os dois poluentes apresentaram perfis distintos.

Ao analisar os parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) para o período do episódio — Figura 34 — verifica-se que, durante o período do episódio, a direcção do vento é maioritariamente de noroeste (NW), o que sugere alguma influência do complexo industrial, localizado a norte da estação de monitorização.

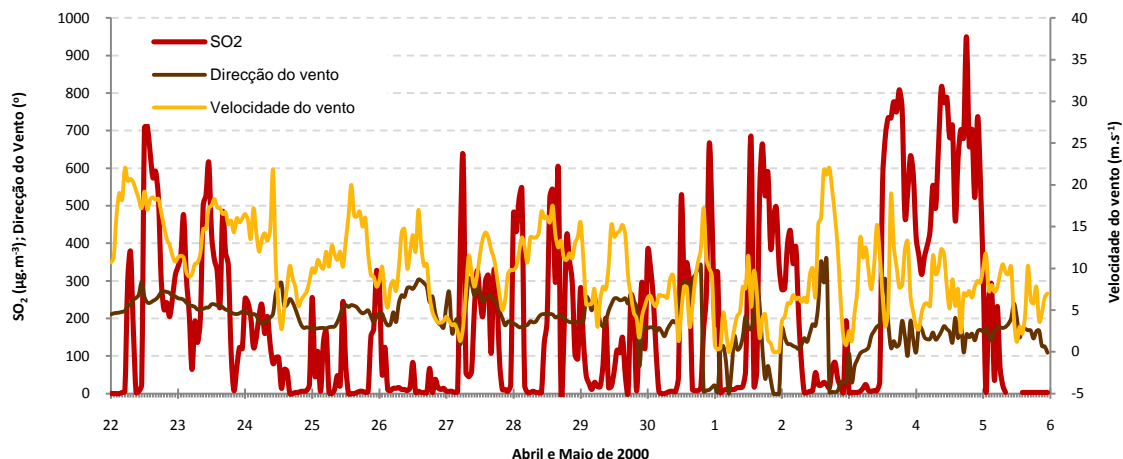


Figura 34 – Parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de SO_2 medidos entre 22 de Abril e 5 de Maio de 2000

Durante este período de análise verificou-se a existência de picos instantâneos com valores de concentração bastante elevados que se prolongam durante vários dias. A permanência destes picos de concentração de SO_2 pode indicar que se trata de uma libertação extraordinária deste composto, que se vai mantendo na atmosfera, variando a sua concentração consoante a direcção do vento.

A interferência das condições meteorológicas neste episódio não é muito evidente, principalmente no que se refere à velocidade do vento, verificando-se dias em que os picos coincidem com uma velocidade do vento elevada. Contudo, é importante referir que os dados meteorológicos considerados foram recolhidos na Universidade de Aveiro que dista da estação onde as concentrações foram medidas de cerca de 15 km e se localiza junto à costa, onde a influência da velocidade do vento (brisa marítima) se faz sentir com maior intensidade.

Foram simuladas as retrotrajetórias e mapas sinópticos referentes aos dias em que se verificaram as concentrações maiores de SO_2 e encontram-se ilustrados na Figura 35.

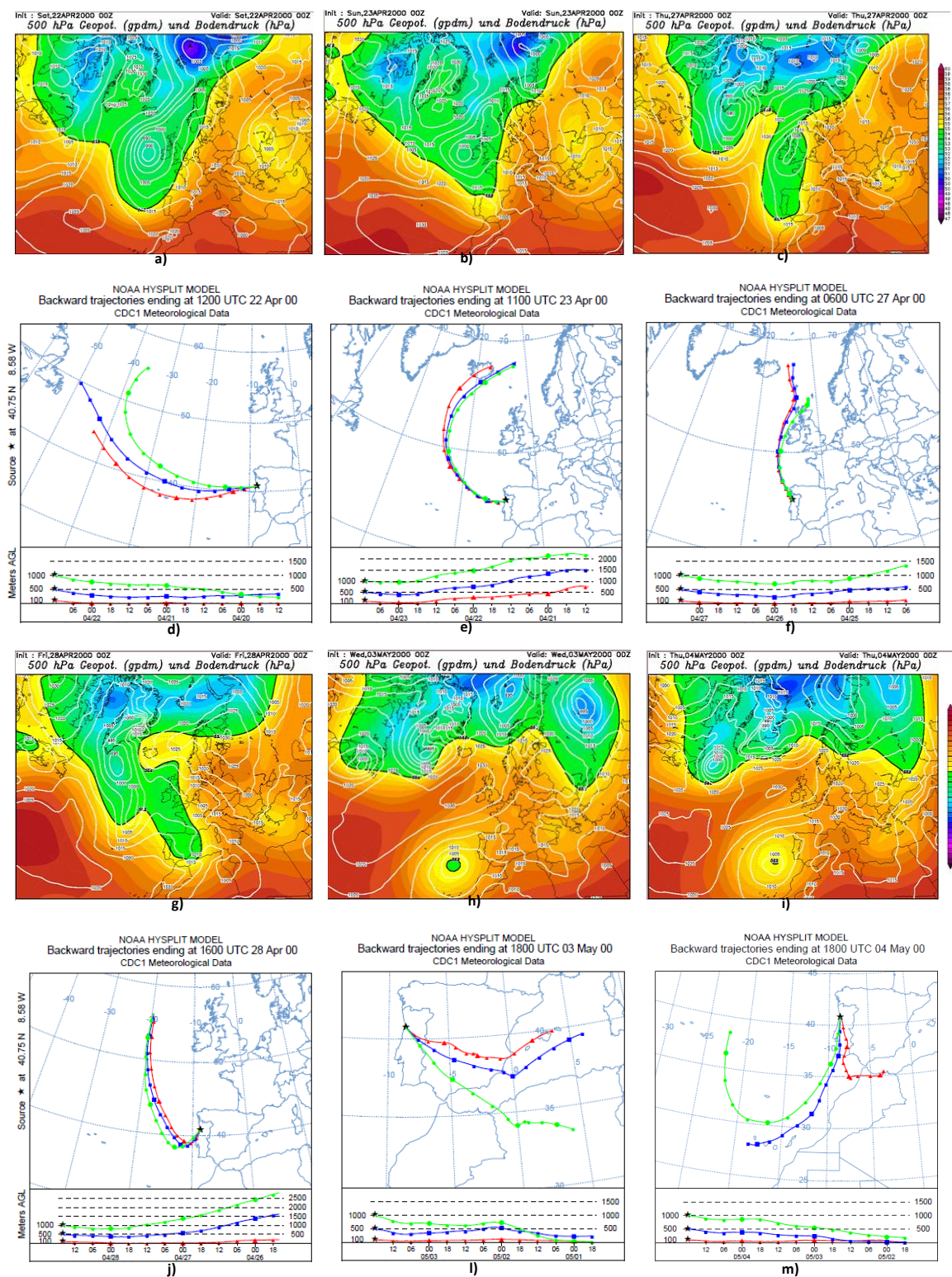


Figura 35 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a, b, c, g, h, i), e retrotrajetórias do modelo HYSPLIT (d, e, f, j, l, m) para os dias referidos.

Durante este período verifica-se existirem grandes alterações nas condições sinópticas, variando de dia para dia do episódio, reflectindo-se na origem das massas de ar. As retrotrajectórias revelam que o transporte de massas de ar teve proveniência nos diversos quadrantes durante o período de episódio. As características verificadas e analisadas na figura anterior permite sustentar a teoria apresentada anteriormente, de que a proveniência do SO₂ que levou a atingir picos tão elevados e durante vários dias teve origem local.

Realizou-se uma análise aos dados recolhidos para a estação da qualidade do ar de Avanca que, apesar de não terem sido incluídos no estudo (capítulo 4), permite ajudar na compreensão e identificação dos fenómenos que estão na origem deste episódio. Para o período em análise, na estação de Avanca, não foram registados valores elevados de SO₂ como é possível verificar no Anexo B, corroborando a teoria de uma libertação accidental deste composto, já que no complexo químico existe uma unidade de produção de ácido sulfúrico. A estação de Avanca, localizada a NE do CQE, não sofreu a influência da libertação ocorrida durante o período do episódio.

Episódio 2 - SO₂ - 01 e 02/04/2008

No período compreendido entre 01 e 03 de Abril de 2008 foram registados valores elevados de SO₂, tendo sido ultrapassado no dia 02 os 500 µg.m⁻³ de concentração.

A comparação dos valores das concentrações dos vários poluentes (SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2,5}) medidos na estação da Teixugueira para este período (Figura 36), permite verificar que no dia 01 existe uma certa similaridade entre o comportamento do SO₂ e os restantes poluentes. Nos dias 02 e 03 os picos registados para o SO₂ apresentam alguma semelhança com os do NO₂ e PM₁₀, indicando a probabilidade dos poluentes terem uma origem local.

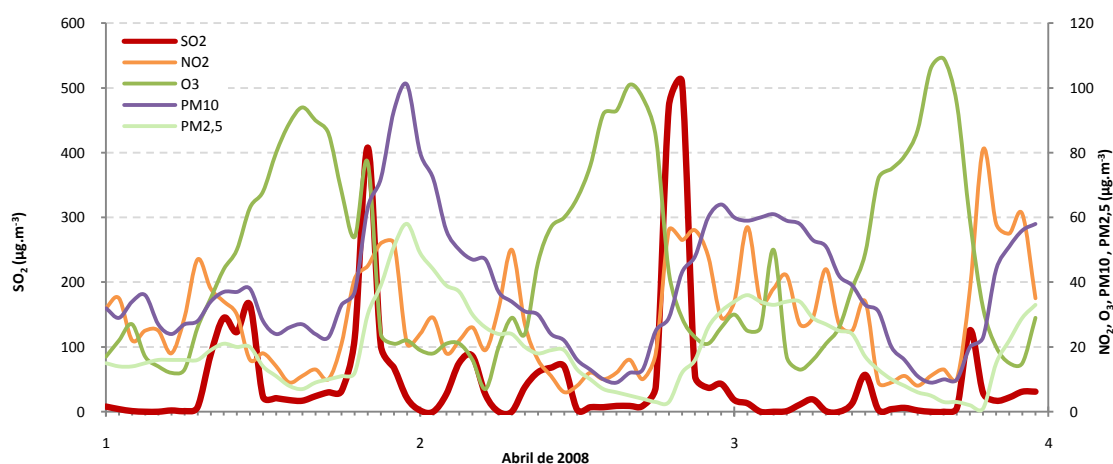


Figura 36 – Concentrações de SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀ e PM_{2,5} monitorizadas entre 01 e 03 de Abril de 2008.

Tanto o pico do dia 01 como o do dia 02 foram registados às 20:00 e, pelas características apresentadas, nomeadamente a sobreposição com o pico do O₃ no dia 01, sugerem a existência de inversão nocturna, favorecendo a acumulação de poluentes na atmosfera.

Além disso, ao analisar os parâmetros meteorológicos (ver Figura 37), constata-se que a ocorrência dos picos sucede em simultâneo com a mudança da direcção do vento para norte (N). Tendo em conta que a estação da Teixugueira se encontra a sul do complexo

químico de Estarreja, são fortes os indícios de que este episódio poderá ter tido origem industrial.

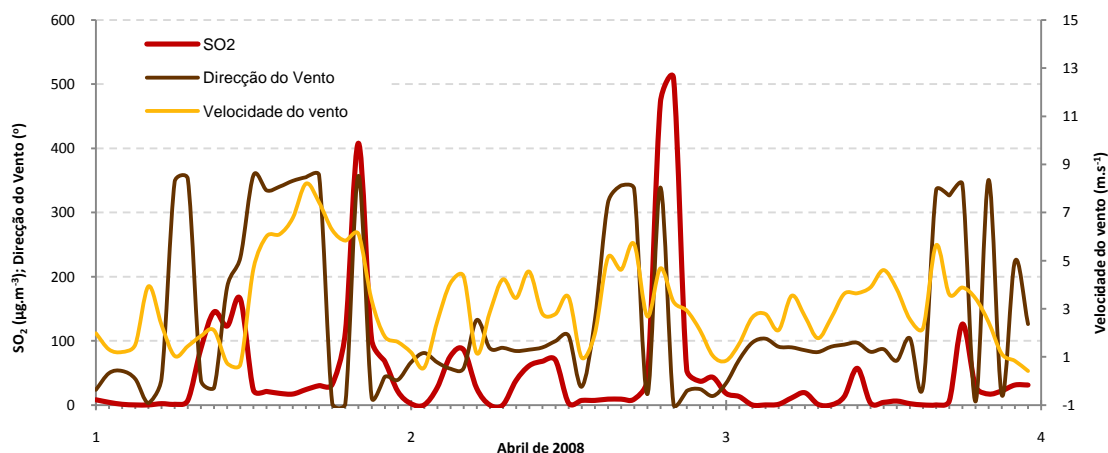


Figura 37 – Parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de SO_2 medidos entre 01 e 03 de Abril de 2008.

As cartas sinópticas (Figura 38 a) e b)) indicam, nos dias 01 e 02 de Abril de 2008, a existência de um centro de altas pressões a oeste e norte de Portugal. No dia 01 este centro anticiclónico (anticiclone dos Açores), encontra-se a oeste e abrange o norte de Portugal. No dia 02 evolui para o norte da Península Ibérica. Associado ao anticiclone dos Açores encontra-se um alto nível de pressão em 500hP que, no dia 02, abrange o norte de Portugal e Galiza, indicando a presença de temperaturas elevadas. Em ambos os dias do episódio a península ibérica encontra-se com um gradiente de pressão atmosférica baixo, indiciando velocidades do vento baixas e favorecendo, desta forma, a pouca dispersão de poluentes.

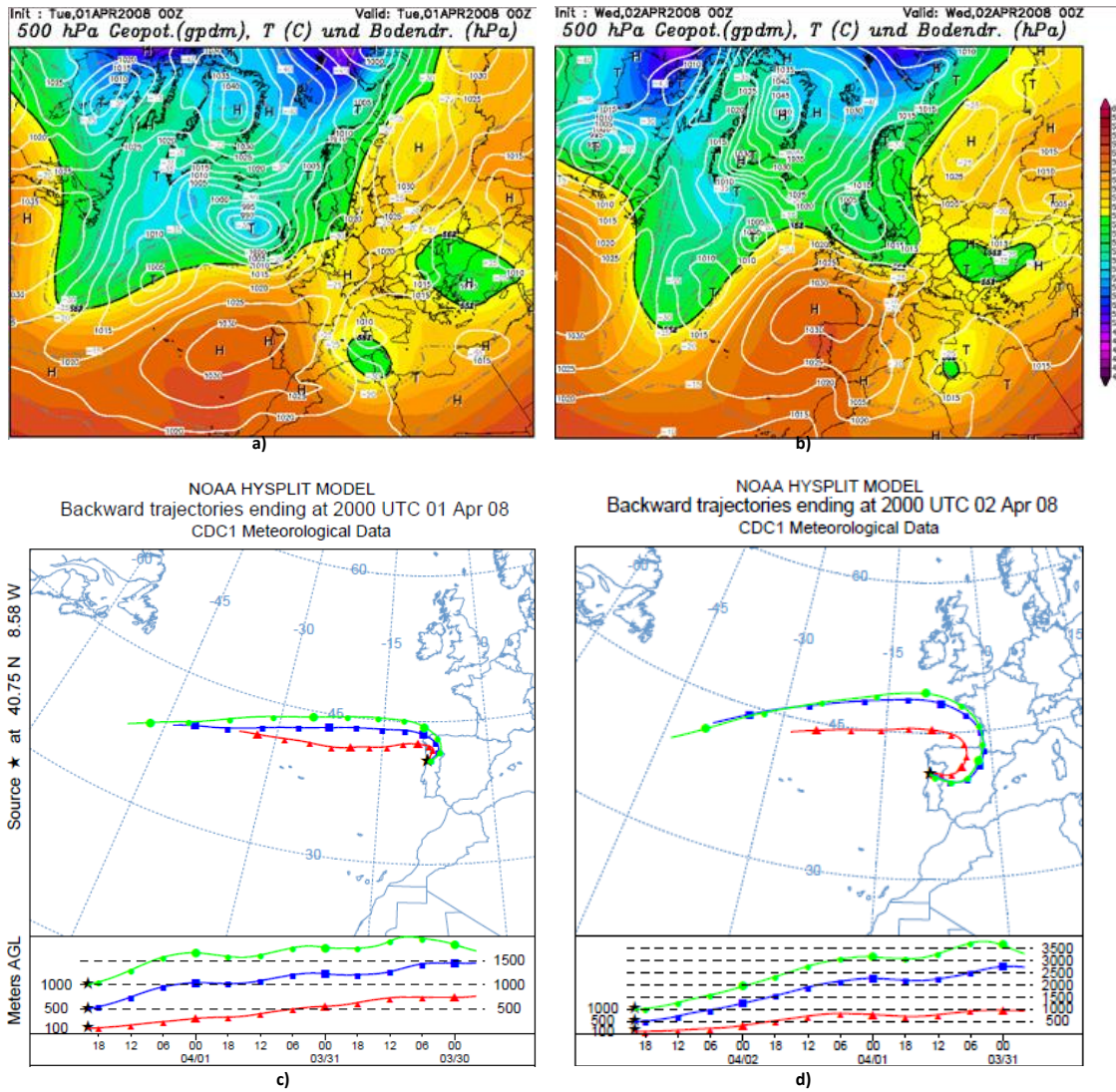


Figura 38 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a, b), e retro-trajectórias do modelo HYSPLIT (c, d) para os dias referidos.

A análise das retrotrajectórias — Figura 38 c) e d) — indica a proveniência de NW das massas de ar sinópticas, entrando em território nacional por nordeste (NE). A recirculação local não é evidente pois as retrotrajectórias são semelhantes para as três altitudes, apresentando um padrão de circulação análogo. Esta conclusão está de acordo com o registado na estação meteorológica de Aveiro, com circulação sinóptica de NE e com pontuais mudanças o vento local para N (associado aos picos de concentração de SO_2).

Episódio 3 - PM10 - 22/01/2004

No período de 21 – 24 de Janeiro de 2004 foram registados valores elevados de PM10 na estação da Teixugueira, tendo sido verificado um episódio crítico no dia 22 com valores que excederam os $300 \mu\text{g.m}^{-3}$. Foi registado um pico à 01:00 hora e outro (o mais elevado) às 20:00 horas, sendo o primeiro de $243 \mu\text{g.m}^{-3}$ e o último de $338 \mu\text{g.m}^{-3}$. Na Figura 39 é realizada a comparação dos vários poluentes para o período do episódio.

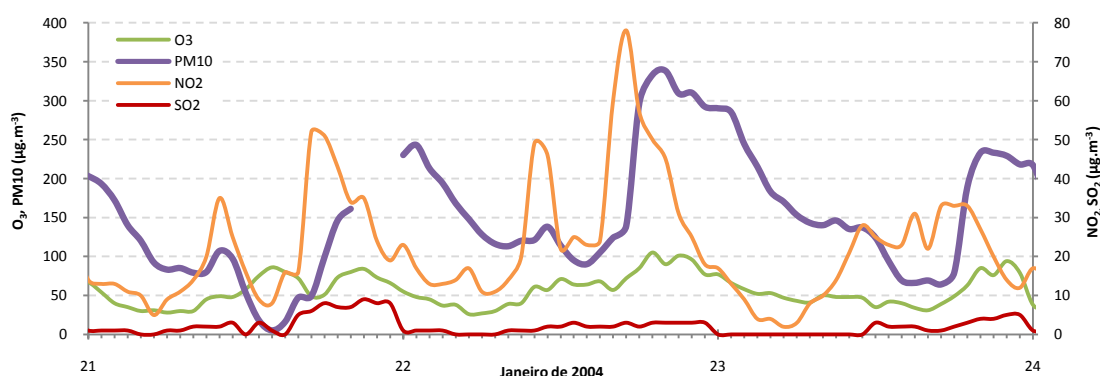


Figura 39 – Concentrações de SO_2 , NO_2 , O_3 e PM10 monitorizadas entre 21 e 23 de Janeiro de 2004

No período analisado verifica-se um desfasamento entre os picos de NO_2 e PM10 de algumas horas. Este facto indica-nos que este episódio poderá ter tido alguma origem industrial.

De forma a percebermos de que forma as poeiras do Sahara poderão ter influenciado este episódio, recorreu-se à análise das imagens fornecidas pelo BSC-DREAM8b e pelo NASA-TOMS relativos ao índice de aerossóis para o dia em questão. Na Figura 40 estão representados os resultados obtidos pelos dois modelos para o dia 22 de Janeiro de 2004.

Da análise das imagens obtidas com recurso aos modelos mencionados, verifica-se não ter ocorrido qualquer interferência das poeiras com origem africana neste episódio.

Tendo em conta tratar-se de um episódio de Inverno e o pico registar-se e prolongar-se durante a noite, tal pode indiciar um forte contributo da combustão doméstica. Por outro lado, a concentração maior registada (às 20:00 horas) poderá ter tido alguma contribuição do tráfego.

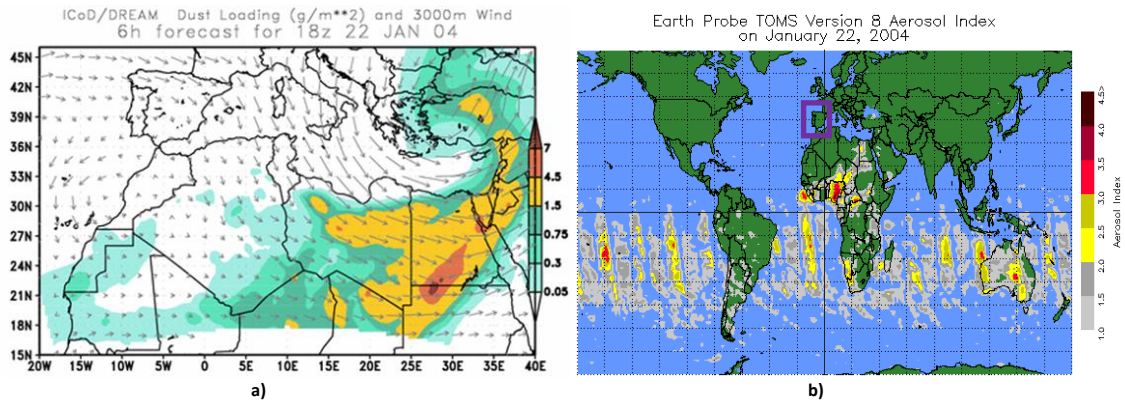


Figura 40 – Índice de aerossóis do fornecido pelo modelo DREAM (a) e pelo NASA-TOMS (b) para o dia 22/01/2004.
(Fonte: URL 10 e URL 11)

A Figura 41, onde estão representados os parâmetros meteorológicos, apresenta no momento da ocorrência dos picos valores de velocidade do vento relativamente baixos, indicando uma situação de calmaria e talvez inversão térmica favorecendo, desta forma, a não dispersão dos poluentes existentes na atmosfera. Os elevados valores de fundo durante os quatro dias analisados sugerem que exista alguma acumulação de PM₁₀ ao longo deste período. A direcção do vento, dominante durante o episódio, é de NE/N verificando-se flutuações durante o período em que os picos se registam e indicando uma proveniência local para este poluente neste episódio.

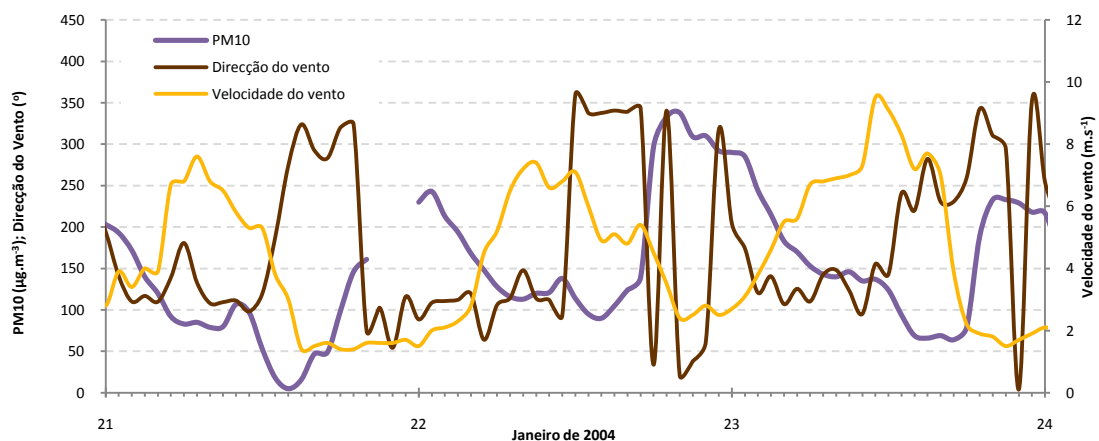


Figura 41 – Parâmetros meteorológicos (velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de PM₁₀ medidos entre 21 e 23 de Janeiro de 2004.

As condições sinópticas deste episódio representadas na Figura 42 a) indicam a existência de um centro de altas pressões a N da Península Ibérica e outro a oeste (W). Devido a esta proximidade o gradiente isobárico é baixo, beneficiando desta forma a acumulação de poluentes.

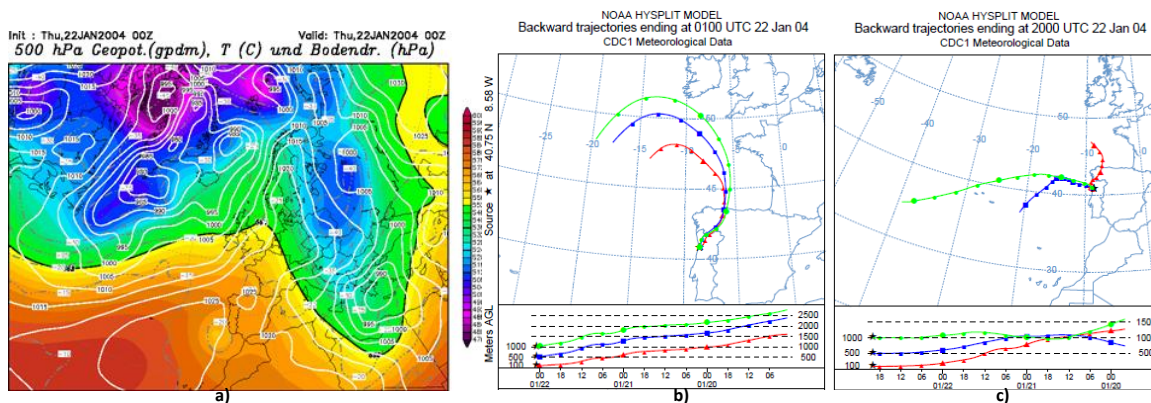


Figura 42 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a), e retro-trajectórias do modelo HYSPLIT (b, c) para o dia 22 de Janeiro de 2004.

As retrotrajectórias das massas de ar do dia 22 de Janeiro, representadas na Figura 42 b) e c), têm direcções diferentes para a 01:00 hora e para as 20:00 horas. Para a hora do primeiro pico (01:00 hora), as massas tem direcção N/NE para as 3 alturas (100, 500, 1000 m AGL). No pico das 20:00 horas o padrão de circulação não é idêntico nas várias alturas, indicando a existência de recirculação local, visto a massa de ar com altura de 100 metros ser proveniente de N e as restantes de W, corroborado nas medições de superfície (ver Figura 41). Estas condições sinópticas podem favorecer a acumulação e estagnação do ar durante o período nocturno, levando à não dispersão dos poluentes, neste caso PM₁₀ e NO₂, ambos com origem urbana e industrial.

A análise dos dados das concentrações registadas na estação de Avanca (Anexo B), permite verificar a existência de um comportamento similar ao registado na Teixugueira, atestando assim a subsistência de PM₁₀ na atmosfera durante o período da noite.

Episódio 4 - PM10 e O₃ - 05 e 06/08/2005

No dia 05 de Agosto de 2005 foram registados na estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira valores de PM10 e O₃ superiores a 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Relativamente às PM10, este episódio apresenta uma curva pouco característica, como se pode verificar na Figura 43, onde estão representadas as concentrações de todos os poluentes em estudo durante o período do episódio. As PM10 apresentam valores de concentração elevados durante grande parte dos dias 5 e 6.

A análise dos comportamentos dos diversos poluentes neste período permite verificar a existência de sobreposição de alguns picos, nomeadamente O₃, PM10 e PM2,5.

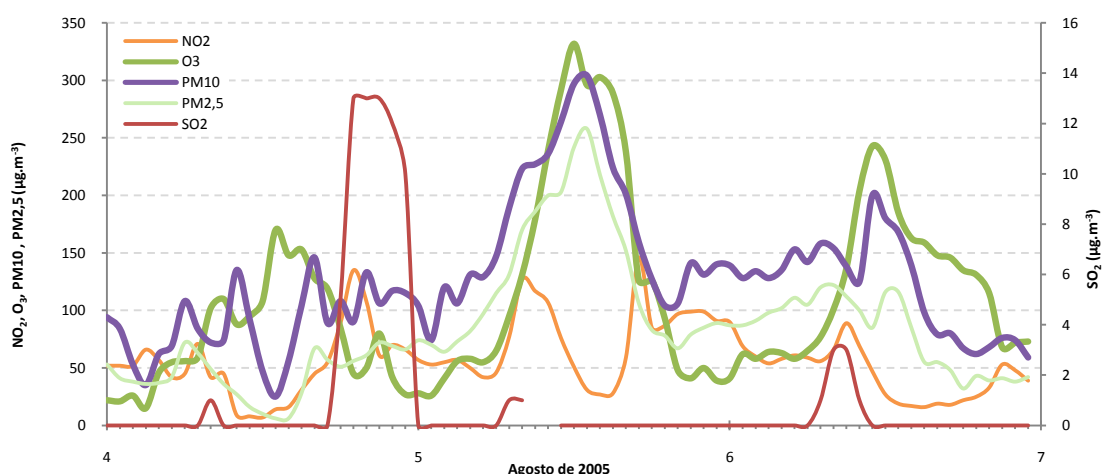


Figura 43 – Concentrações de SO₂, NO₂, O₃, PM10 e PM2,5 monitorizadas entre 04 e 06 de Agosto de 2005

A curva do ozono representada na Figura 43 apresenta, para os dias 05 e 06, um comportamento típico, apresentando as maiores concentrações nas horas em que a radiação é maior. Por outro lado, verifica-se a existência de consumo do NO₂ para formação de O₃, pois o NO₂ aumenta até ao momento em que, através da sua foto-oxidação, traduz um incremento nos níveis de O₃. Através da análise ao gráfico O₃ vs temperatura (Figura 44), pode-se verificar que os picos do O₃ ocorrem à hora em que é

atingida a temperatura máxima, às 12:00 horas no dia 05 e às 11:00 horas no dia 06, corroborando a formação/origem fotoquímica deste poluente.

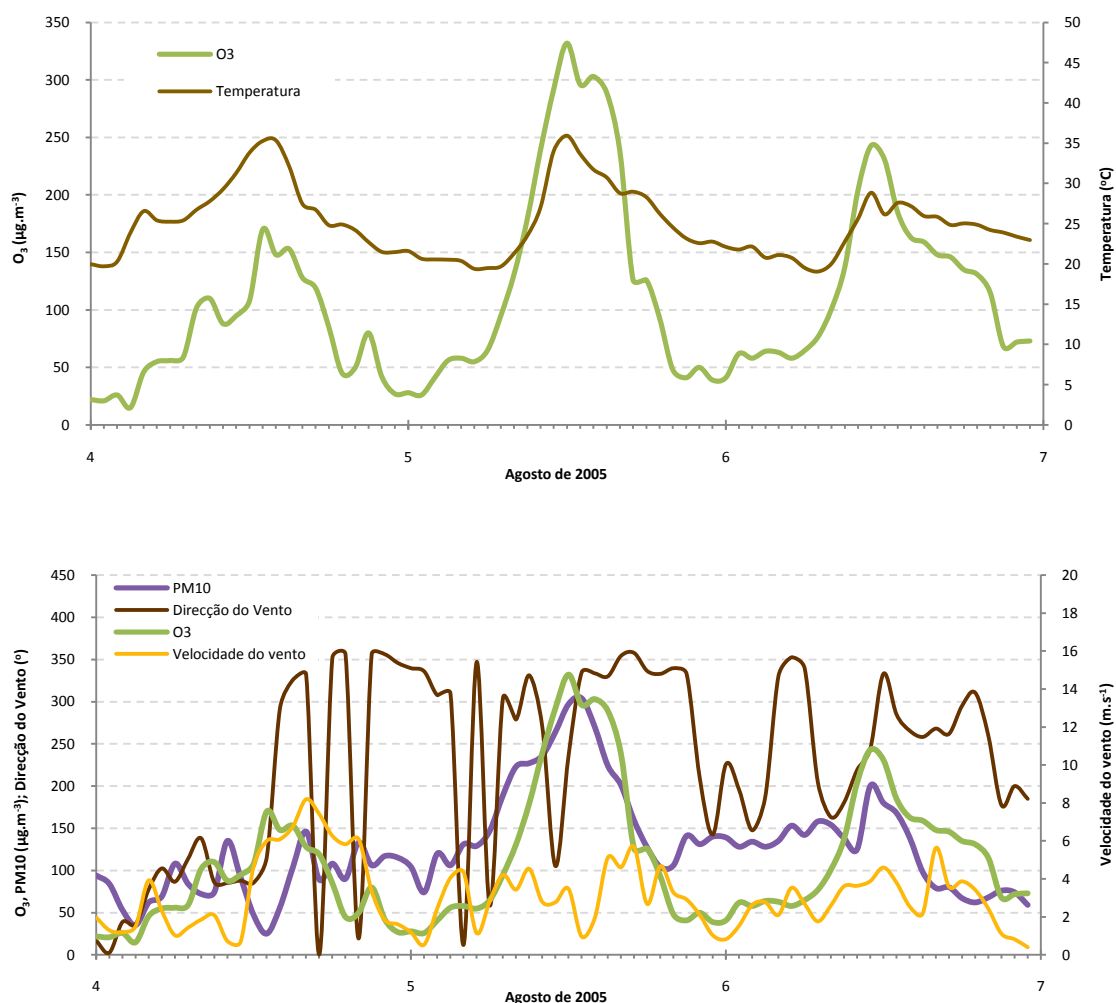


Figura 44 – Parâmetros meteorológicos (temperatura, velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de O₃ e PM10 medidos entre 04 e 06 de Agosto de 2005.

A análise dos parâmetros meteorológicos na Figura 44 – PM10 e O₃ vs direcção e velocidade do vento, confirma a seguinte constatação já mencionada anteriormente: a velocidade do vento relativamente baixa durante o período do episódio, conduziu à pouca dispersão de poluentes na atmosfera.

A Figura 45 representa o mapa sinóptico para o dia 05 de Agosto com representação das isobáricas e altura geopotencial em 500hPa e as retrotrajectórias em 3 alturas (100, 500 e 1000 m agl) para o mesmo dia.

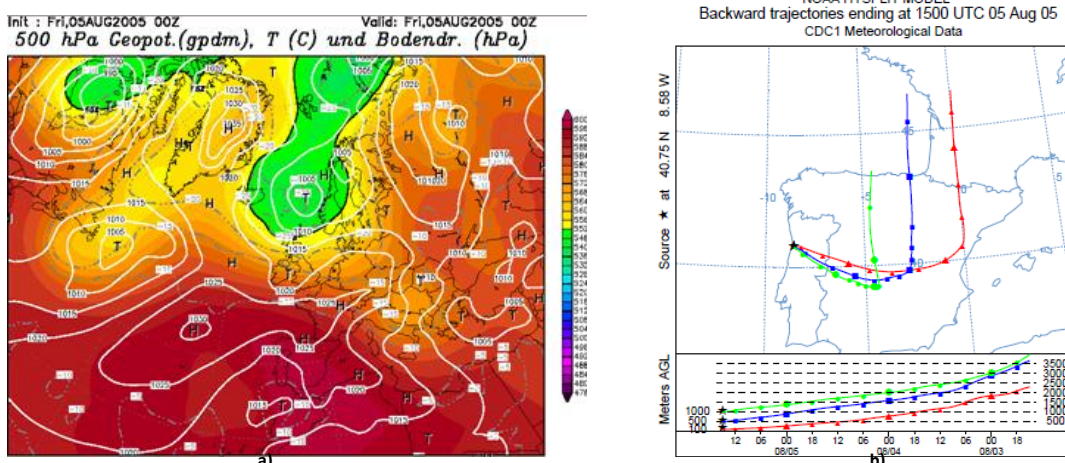


Figura 45 – Mapas sinópticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a), e retrotrajectórias do modelo HYSPLIT (b) para o dia 05 de Agosto de 2005

Para este episódio as condições sinópticas são caracterizadas pela localização do anticiclone dos Açores no Atlântico a NW da Península Ibérica e por um centro de baixas pressões do Norte de África. A existência de uma crista de pressões a 500 hPa sobre Portugal e parte de Espanha, indicia a subsistência de temperaturas elevadas, propícias à formação de ozono troposférico. Por outro lado, Portugal é atravessado por uma única isóbara, confirmando a existência de vento muito fraco e a consequente estagnação dos poluentes na atmosfera. Estas condições sinópticas específicas (Carvalho et al., 2010) já foram identificadas num estudo anterior como favoráveis para a ocorrência de episódios de ozono (Monteiro et al., 2010).

A análise das retrotrajectórias de 3 dias revela que, neste episódio, as massas de ar sinópticas foram provenientes de NE, tendo entrado em território nacional por este (E).

Sendo este um episódio de Verão realizou-se uma análise aos dados dos incêndios ocorridos na região (URL 12) nesta data. Verificou-se ter ocorrido um incêndio com a duração de quatro dias (de 04/08 a 07/08) na freguesia de Ossela em Oliveira de Azeméis. Esta região localiza-se a NE de Estarreja a uma distância de aproximadamente 15 km. O fumo resultante dos incêndios florestais armazena quantidades importantes de diversos poluentes, nomeadamente: CO₂, CO, CH₄, NO_x, NH₃, PM₁₀, PM_{2,5}, COV's, SO₂ e outras espécies químicas que interferem em diversos processos atmosféricos. Os efeitos dessas emissões são sentidos em diferentes níveis, sendo um deles a ocorrência de episódios de

poluição atmosférica local, incluindo os níveis de ozono a médias distâncias (mesoescala) das fontes de emissões (Miranda *et al.*, 2007).

Este incêndio florestal parece ter contribuído para a conservação de valores elevados de PM₁₀ durante este episódio. Valores que, independentemente dos picos assinalados, são frequentemente superiores a 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Os picos de O₃ registados neste episódio em simultâneo com os das partículas (PM₁₀ e PM_{2,5}) podem também ter tido alguma contribuição deste incêndio florestal.

Observando a simulação do DREAM — Figura 46 — para a data deste episódio, pode verificar-se o contributo das poeiras do Sahara para a ocorrência de concentrações elevadas de PM₁₀ em Estarreja, análise confirmada pela observação feita à imagem obtida pelo NASA-TOMS.

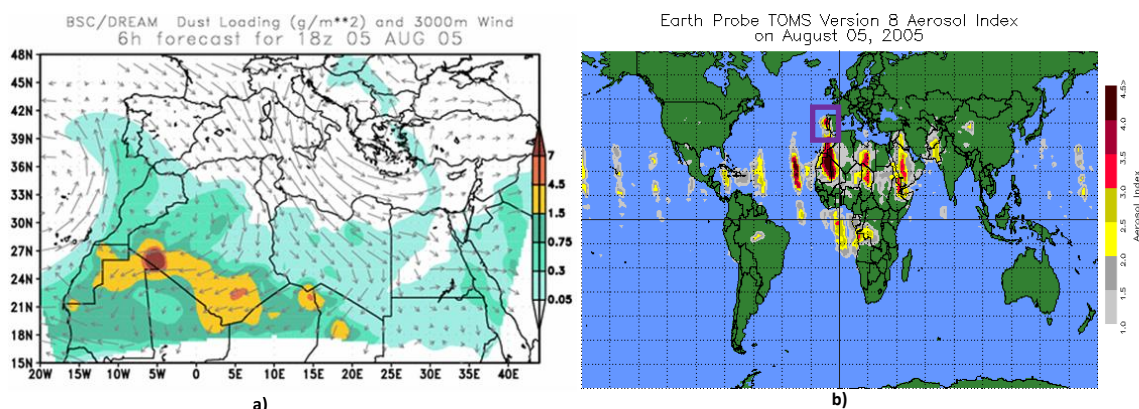


Figura 46 – Índice de aerossóis do fornecido pelo modelo DREAM (a) e pelo NASA-TOMS (b) para o dia 05/08/2005. (Fonte: URL 10; URL 11)

A análise do índice de aerossóis obtido através do DREAM (Figura 46a) e do NASA-TOMS (Figura 46b) revela que nesta data ocorreu uma deslocação das poeiras com origem em África para a zona de Portugal. De forma a confirmar esta origem e tendo em conta que as retrotrajectórias da Figura 45 foram calculadas tendo em conta alturas que não comprovaram a proveniência das massas de ar do continente Africano, realizou-se um novo cálculo das trajectórias das massas de ar mas, desta vez, considerando a altura de 2500 m AGL. O resultado obtido foi o representado na Figura 47a).

Considerando a hipótese, apresentada anteriormente, de ter ocorrido neste episódio o contributo do incêndio florestal, realizaram-se novas retrotrajectórias para as alturas de 100, 250 e 500 m AGL, com uma antecedência de 8 horas, de forma a perceber se alguma das massas de ar passa sobre o concelho onde se registou o incêndio (Figura 46b).

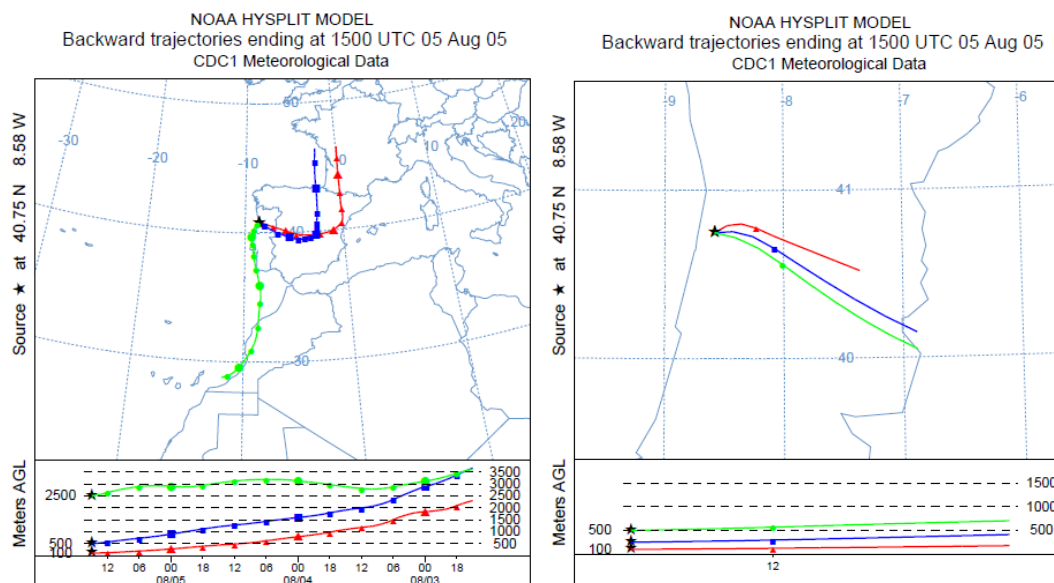


Figura 47 – Retrotrajectórias do modelo HYSPLIT para o dia 05 de Agosto de 2005 para as alturas 100, 500 e 2500 m agl (3 dias) (a) e para as alturas 100, 250, 500 m agl (8 horas) (b).

Na primeira imagem pode verificar-se que a massa de ar do 2500m AGL tem a sua origem no continente africano, comprovando desta forma a intrusão das poeiras do Sahara em Portugal na data do episódio. Por outro lado, a segunda imagem comprova que a massa de ar dos 100 m AGL terá passado sobre concelho onde ocorreu o incêndio, comprovando ainda a influência do incêndio ocorrido nas concentrações registadas em Estarreja para PM10 e O₃.

Desta análise pode intuir-se que as concentrações registadas para PM10 nestes dias de episódio tiveram o contributo destes dois eventos naturais: transporte das poeiras do deserto do Sahara e os incêndios florestais ocorridos naquela área.

Os precursores de O₃ formados na combustão do incêndio e transportados pelas massas de ar até Estarreja, em conjunto com as condições sinópticas favoráveis à sua formação, justificam as concentrações elevadas registadas na estação da Teixugueira em 05 de Agosto de 2005.

Episódio 5 - O₃ - 27 a 31/05/2001

No período que decorreu de 27 a 31 de Maio de 2001 ocorreram picos de O₃ com valores que ultrapassaram os 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tendo sido registada uma concentração de 358 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ no dia 29, às 18:00 horas.

Da análise comparativa entre os vários poluentes registados neste período – Figura 48 – só se verifica existir uma relação, em alguns períodos, com o NO₂, sugerindo o consumo deste para a formação fotoquímica de O₃.

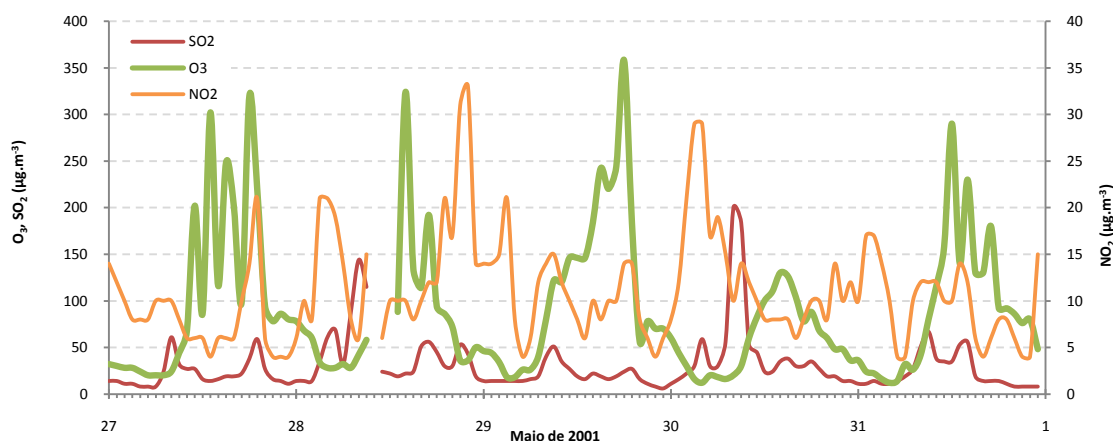


Figura 48 – Concentrações de SO₂, NO₂ e O₃ monitorizadas entre 27 e 31 de Maio de 2001

O O₃ apresenta durante este período um comportamento típico de poluente fotoquímico, com aumento das concentrações a partir do meio do dia e diminuindo bastante durante a noite.

Na Figura 49 estão representados os parâmetros meteorológicos relativos ao episódio. No gráfico de cima encontram-se representados o O₃ vs Temperatura e no gráfico de baixo o O₃ vs direcção e velocidade do vento. Apesar do comportamento fotoquímico, há a salientar que as temperaturas não são muito elevadas (<25°C). No entanto estas foram medidas na estação de Aveiro que se localiza bastante próxima da costa.

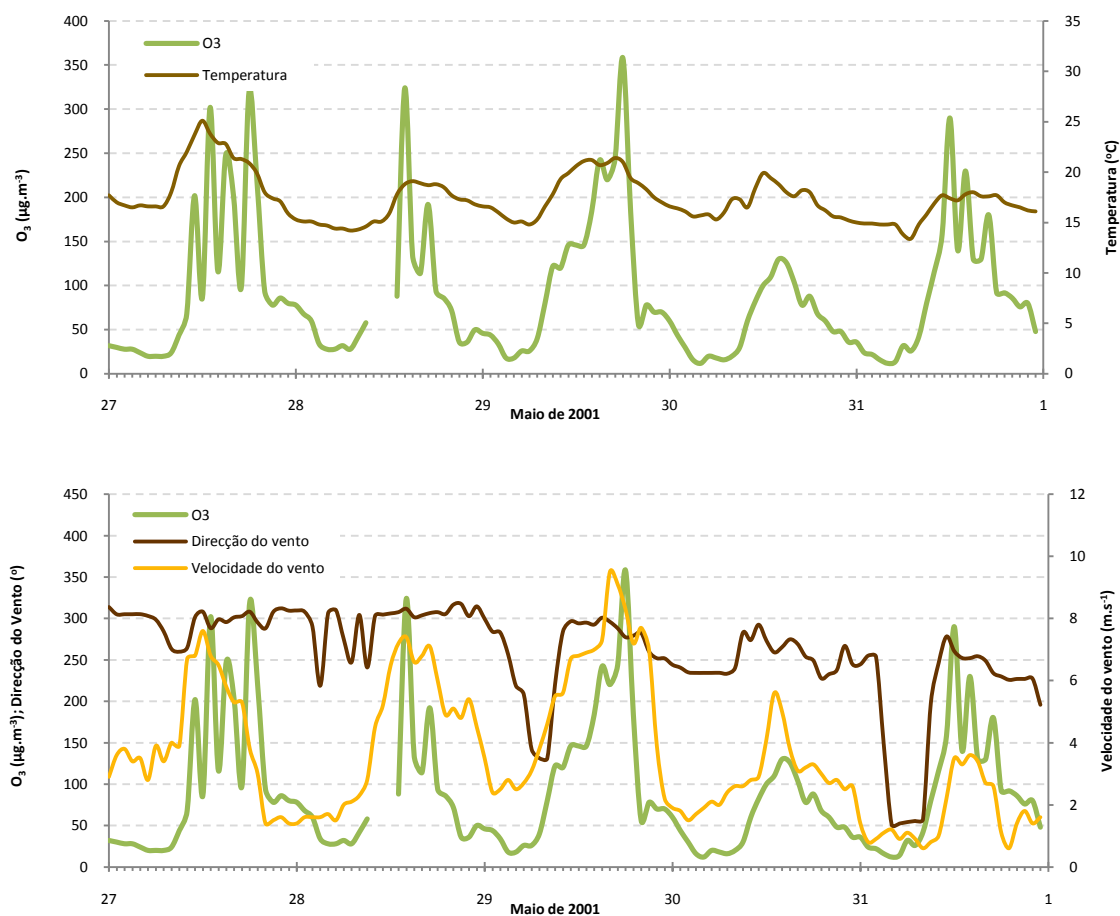


Figura 49 – Parâmetros meteorológicos (temperatura, velocidade do vento e direcção do vento) e as concentrações de O₃ medidos entre 27 e 31 de Maio de 2001

Ao comparar os picos do ozono com a temperatura, verifica-se haver um certo desfasamento entre a hora em que se registou a temperatura máxima e a hora em que a concentração máxima de O₃ é atingida. O pico mais elevado do dia 27 e o pico do dia 29 foram registados às 18:00 horas, sendo esta hora pouco comum para a verificação de concentrações elevadas deste poluente. Estes factos indiciam que, para além da formação local, deverá ter havido algum transporte deste poluente da zona costeira a norte.

Para todos os picos ocorridos durante este episódio verificou-se a existência de um padrão em termos de concentração vs vento: um aumento de velocidade do vento coincidente com a ocorrência dos momentos de maior concentração e por outro lado em simultâneo com vento oriundo de NW/N. Este facto corrobora a hipótese de haver

transporte deste poluente (e/ou seus precursores) da zona costeira urbana, colocada anteriormente.

Na Figura 50 representam-se as condições sinópticas e as retrotrajectórias aferidas nos dias em análise e verifica-se que neste episódio o campo da altura geopotencial elevado abrange Portugal, deslocando-se a toda a Península Ibérica no dia 29, formando uma crista que engloba toda a Península Ibérica. Em todos os dias de análise se constata a existência de um baixo gradiente de pressão em Portugal.

A análise da retrotrajectórias indica-nos que as massas de ar possuem um padrão semelhante nos vários dias deste episódio, revelando uma circulação sinóptica de E-NE, típica de situações anticiclónicas sobre a Península Ibérica.

Estes resultados mostram que, apesar desta componente sinóptica de N/NE, é a circulação de superfície (N) a responsável pela dispersão e transporte de poluentes.

Ao analisar os dados de Avanca (Anexo B) verifica-se que nesta estação também são registados valores elevados no período do episódio, consolidando a hipótese de transporte de poluentes. Porém, na estação da Teixugueira registam-se valores de concentrações de O₃ mais elevados sugerindo ter havido uma formação adicional de O₃ devido a precursores emitidos pelo complexo industrial de Estarreja.

É de salientar que a análise efectuada dos episódios seleccionados foi realizada tendo em conta a colocação de hipóteses. Para se poder obter resultados mais concretos quanto à origem dos picos de concentrações registados para os diversos poluentes seria necessário um estudo mais avançado (com recurso a outras ferramentas de modelação mais precisas) de forma a compreender qual a origem e causas dos episódios.

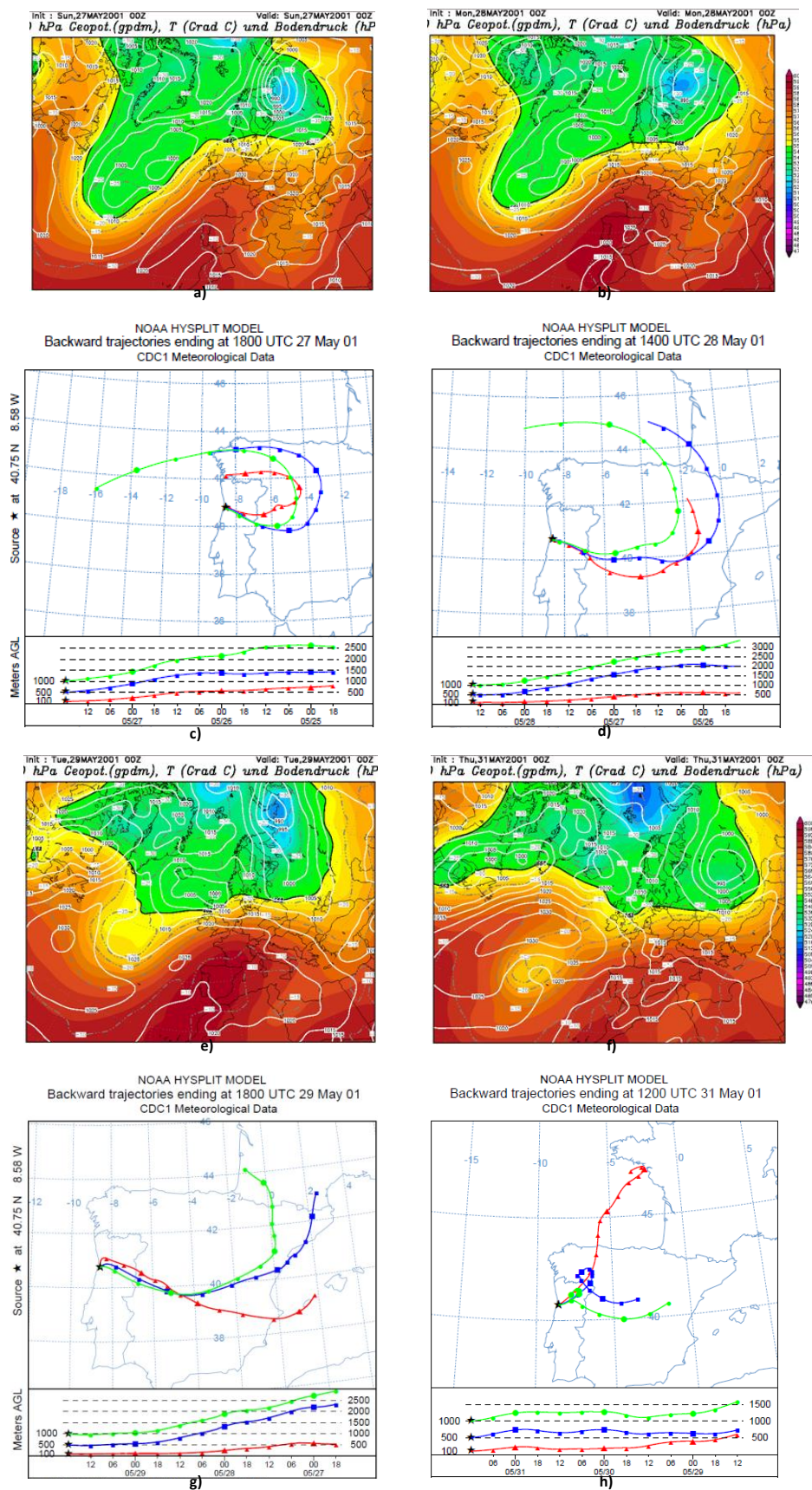


Figura 50 – Mapas sinóticos, com altura geopotencial em 500 hPa e pressão à superfície (a, b, e f), e retro-trajectórias do modelo HYSPLIT (c, d, g, h) para os dias referidos

6. Linhas de orientação

A gestão da qualidade do ar tem de ser, necessariamente, baseada na gestão das emissões de poluentes nas fontes, já que após o seu lançamento na atmosfera se torna impossível controlar os processos de transporte, transformação ou deposição dos mesmos. Esta gestão, de um ponto de vista integrado, deverá incluir linhas de actuação estratégica sobre redução de emissões, controlo de processos, monitorização e intervenção correctiva (Borrego e Monteiro, 2008).

A definição de linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar é efectuada pela Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio, transposta para ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro que determina, para as zonas onde os níveis de poluentes são superiores aos valores limite ou valor alvo (ozono), a elaboração de planos de melhoria da qualidade do ar e respectivos programas de execução. Estes deverão definir um conjunto de políticas e medidas que possibilite, num prazo tão curto quanto possível, o cumprimento dos valores limite e, por inerência, a protecção da saúde humana. O princípio orientador da legislação prevê igualmente que se desenvolvam as políticas e medidas que visem a manutenção de bons níveis de qualidade do ar onde estes existam actualmente (Ferreira *et al.*, 2006)

A elaboração de Planos de Melhoria da Qualidade do Ar tem como objectivo o alcance de níveis de qualidade do ar que garantam a protecção da saúde humana e do Ambiente em geral, através de opções sustentáveis (URL 2). Actualmente estão em implementação planos para a melhoria da Qualidade do Ar das Regiões do Norte e de Lisboa e Vale do Tejo.

A análise dos dados de qualidade do ar na zona de influência de Estarreja indicou um conjunto de situações de inconformidade com os valores limite e valor alvo actualmente em vigor (ver Capítulo 4). A legislação em vigor impõe o desenvolvimento e implementação de medidas com o objectivo de ver cumpridos os valores limite e/ou valor alvo excedidos.

Sendo um dos objectivos deste trabalho a sugestão de linhas de orientação que contribuam para uma melhoria da qualidade do ar em Estarreja, serão, de seguida, enumeradas algumas medidas seleccionadas tendo por base os planos de melhoria já elaborados em Portugal.

A análise de excedências realizada no presente estudo (ver ponto 4.3) permitiu verificar que as PM₁₀ e O₃ são os poluentes mais críticos, registando um elevado número de ultrapassagens, quer no que diz respeito aos valores limite quer aos valores alvo (no O₃). No entanto, também no SO₂ se verificaram excedências. O estudo realizado para os episódios seleccionados (ver capítulo 5) permitiu identificar as possíveis causas para os valores elevados das concentrações dos poluentes, tendo sido identificadas situações em que prevaleceu a origem antropogénica e outras em que a proveniência dos poluentes foi, supostamente, de origem natural.

Dada a proximidade do complexo químico de Estarreja da estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira, e tendo em conta as condições sinópticas com predominância dos ventos de N nesta área, as emissões industriais tiveram uma forte influência na origem antropogénica dos episódios analisados. Como tal, as medidas propostas neste trabalho estão de alguma forma associadas à indústria mas também serão consideradas medidas possíveis de aplicar tendo em conta outras fontes de emissão. O plano de melhoria da região norte (Borrego *et al.*, 2006 ; Borrego *et al.*, 2007), foi o que apresentou características semelhantes a esta área de estudo tendo por isso sido seleccionadas algumas das medidas relacionadas com o sector industrial, doméstico e dos transportes constantes nesse documento.

A definição de políticas e medidas de melhoria da qualidade do ar para o ozono deve incidir sobre as concentrações dos seus principais precursores, nomeadamente NO_x e COV's. A complexa relação entre o O₃ e os seus precursores, torna mais crítica a tarefa de definir medidas para diminuir a sua concentração atmosférica (Borrego *et al.*, 2007).

Sector Industrial

As indústrias são responsáveis por emissões elevadas de poluentes atmosféricos, nomeadamente de matéria particulada. As actividades industriais, como a combustão, os processos de produção, a extracção de combustíveis e o uso de solventes são responsáveis por emissões de NO_x e COV's. As medidas que se seguem são propostas de acordo com estes factos.

Substituição de despoeiradores nas fontes industriais

Para diminuir este tipo de emissões, as unidades industriais estão equipadas com despoeiradores, como ciclones, filtros de mangas e precipitadores electrostáticos. A utilização de ciclones para remoção de PM₁₀ representa uma eficiência bastante baixa (exceptuando os casos em que são usados multiciclones). Os filtros de mangas e precipitadores electrostáticos têm eficiências de remoção bastante elevadas, acima de 99%, pelo que as fontes industriais deveriam utilizá-lo.

Reforço da fiscalização das fontes industriais

A fiscalização das emissões das indústrias deve ser feita com mais frequência, de forma a garantir o cumprimento dos valores limite de emissão previstos na legislação. Essa fiscalização não deve deixar de parte as pequenas indústrias, tais como as empresas familiares já que, normalmente, por consequência de imperativos legais, são menos monitorizadas, não deixando de representar um factor importante de degradação da qualidade do ar local.

Criação de normas de emissão para aglomerados industriais e actividades empresariais nos centros urbanos

A legislação nacional relativa a valores limite de emissão (VLE) para as indústrias prevê que estes sejam aplicados para cada empresa isoladamente. No entanto, mesmo após a verificação do cumprimento dos VLE estabelecidos, continuam a registar-se reclamações

da população residente nas proximidades de aglomerados industriais. Paralelamente, as actividades comerciais nos centros das cidades, como a restauração, são responsáveis por emissões não controladas de material particulado. Quando em aglomerados, essas emissões são significativas.

Desta forma, é proposta a criação de normas específicas para aglomerados industriais e comerciais, de forma a ser salvaguardada a saúde e bem-estar das populações residentes na proximidade destes locais.

Sensibilização dos industriais para a diminuição das emissões fugitivas

As emissões fugitivas são, em muitos casos, um contribuinte de peso para as emissões de certos tipos de actividades industriais, como aquelas que se dedicam à criação de animais ou ao processamento de desperdícios. Estas emissões, nomeadamente de COV, não estando sujeitas a regulamentação legal, não são controladas. Assim, deve ser promovida, por parte das entidades fiscalizadoras das indústrias, uma sensibilização dos industriais e trabalhadores para adquirirem práticas que permitam a minimização das emissões fugitivas, específicas para cada caso particular.

Esta é uma medida educativa/informativa, não reguladora, com uma escala temporal de redução das concentrações de O₃ de longo prazo que afectará as fontes industriais da região.

Sector doméstico

As fontes domésticas, apesar de pequena dimensão, não são desprezáveis. De facto, nas noites frias de Inverno, as concentrações de partículas monitorizadas em estações urbanas de qualidade do ar são bastante elevadas, devido às lareiras que se acendem à noite. A queima de biomassa e, em especial, nas lareiras domésticas no Inverno, contribui de forma importante para a produção antropogénica de aerossol, devendo ser considerada nas estratégias de controlo e redução dos níveis ambiente de partículas.

Redução das emissões de combustão doméstica através da substituição de lareiras

Já é conhecido, desde a revolução industrial, que as combustões directas sem controlo, como é o caso das lareiras, são fortes fontes de emissão de PM10 (Borrego *et al.*, 2006). A emissão deste poluente por combustão doméstica representa 16,2% das emissões totais em Portugal, constituindo as lareiras uma grossa fatia das mesmas.

Uma das formas de combater esta fonte é a substituição das lareiras por aquecimento central, já que neste caso a combustão é feita de forma mais optimizada e, se o combustível utilizado for gás natural, muito menos poluente. A sensibilização para esta prática deve ser feita ao nível da população mas também dos construtores civis. Outra prática, já utilizada em países como a Rússia, Itália, Escandinávia ou Estados Unidos é o “aquecimento por complexo residencial”, isto é, a energia para as casas é providenciada por um sistema municipal de aquecimento, onde a combustão se faz de forma controlada e com eficiências mais elevadas. Nos EUA, existem, desde 1988, lareiras certificadas, que têm associadas reduções de matéria particulada na ordem dos 94%. Neste momento ainda não existe este tipo de lareiras em Portugal.

Sector dos Transportes

Varrimento e lavagem das ruas

O varrimento das ruas, seguido de lavagem das mesmas com água, pretende reduzir a concentração de matéria particulada no ambiente urbano, proveniente do fenómeno de ressuspensão. Foram realizados vários estudos neste campo, sendo que alguns deles evidenciam as vantagens desta medida, enquanto que outros a consideram ineficaz.

Diminuição da percentagem de veículos pesados de mercadoria em circulação

Os veículos pesados de mercadoria são os principais responsáveis pelas emissões de exaustão e de ressuspensão de PM10 provenientes do tráfego rodoviário. A sua circulação nos centros das cidades, a baixas velocidades, provoca maiores emissões deste poluente. Esta medida visa a proibição da circulação aos veículos pesados de mercadorias

no centro urbano em cerca de 50%. Propõe-se que o transporte de mercadoria destes veículos para o centro da cidade seja efectuado por vias alternativas, por exemplo, por veículos ligeiros de mercadoria, responsáveis por menores emissões de PM10.

7. Conclusões

O presente trabalho foi desenvolvido com o objectivo principal de efectuar uma avaliação temporal da qualidade do ar na região de Estarreja, tendo como tarefas o diagnóstico e avaliação da qualidade do ar na região de estudo e as condições que a determinam, considerando a influência que esta pode ter na saúde e bem-estar da população residente neste concelho. Para tal, recorreu-se à análise de dados de monitorização da qualidade do ar, quer através da comparação desses com os valores limite actualmente estabelecidos na legislação quer das tendências verificadas neste período de estudo. Para além disso, foram estudados os episódios de poluição mais relevantes entre 2000 e 2009, através da análise da proveniência dos poluentes responsáveis pelos mesmos.

Durante a análise dos dados, foi realizada uma comparação entre os perfis diários dos vários poluentes para as duas estações de qualidade do ar que integravam a zona de influência de Estarreja (Avanca e Teixugueira). Desta observação resultou a conclusão que, os dados das concentrações de poluentes registados na estação da Teixugueira seriam representativos para o estudo em causa, dada a similaridade conseguida com os perfis diários nas duas estações consideradas inicialmente. Dos perfis analisados, todos os poluentes (exceptuando o O_3) apresentavam dois máximos de concentração relativamente coincidentes — entre as 8:00 e as 10:00 horas e entre as 19:00 e 22:00 horas —, sugerindo um contributo do tráfego nos valores alcançados.

Na análise de tendências recorreu-se a dois tipos de representações gráficas — gráficos de tendências e gráficos *boxplot* —, com o propósito de perceber a evolução e variabilidade que cada poluente registou durante os 10 anos de estudo. Desta análise concluiu-se que no NO_2 , SO_2 e PM_{10} não se verificou qualquer variação ao longo dos anos. O O_3 , por seu lado, apresentou uma tendência ligeiramente crescente enquanto as $PM_{2,5}$ decresceram significativamente. No entanto, a análise realizada às $PM_{2,5}$ respeita somente a 5 anos, o que torna inviável a análise de tendências.

Com enfoque na protecção da saúde, foi realizada a análise do cumprimento legal dos vários parâmetros legislados para os poluentes com impacto na saúde (SO_2 , NO_2 , O_3 , PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$). Desta análise apurou-se que o SO_2 , PM_{10} e O_3 apresentaram, durante os anos em estudo, excedências aos valores limite e valor alvo estabelecidos. Os poluentes mais críticos, como as PM_{10} e o O_3 , superaram em vários anos consecutivos as metas estabelecidas. Nas PM_{10} , foram confirmadas excedências ao valor limite horário para além de ter sido largamente excedido o número permitido de ultrapassagens em todos os anos de estudo. No O_3 , o valor alvo foi excedido em todos os anos estudados. No entanto, só nos anos de 2004, 2005 e 2006 é que não foi cumprido o número máximo consentido de excedências. Contudo, o limiar de informação foi excedido em praticamente todos os anos, com excepção do ano 2000, e o limiar de alerta sofreu ultrapassagens em 5 dos 10 anos em análise (2001, 2003, 2004, 2005 e 2006).

De forma a perceber qualitativamente a evolução da qualidade do ar em Estarreja, realizou-se uma análise aos índices de qualidade do ar, publicados num relatório da CCDR-centro, para os anos de 2003-2008. Desta observação verificou-se que a zona de influência de Estarreja apresenta a classe “Bom” como sendo a mais representativa, variando entre os 41% e 56% de dias no ano com essa classe. No entanto, quando se efectua uma comparação com as outras zonas e aglomerações da região centro, a zona de influência de Estarreja é a que apresenta a pior qualidade do ar, no período analisado, registando os valores percentuais mais baixos nas classes que representam uma boa qualidade do ar (“Muito bom” e “Bom”) e mais altos nas classes representativas de má qualidade do ar.

Os resultados obtidos ilustram os problemas de qualidade do ar existentes na região de Estarreja, registando-se incumprimentos legais ao longo dos vários anos de estudo, relativamente a alguns poluentes (SO_2 , PM_{10} e O_3), incumprimentos esses que contribuem para um estado da qualidade do ar menos aceitável e colocando em risco, desta forma, a saúde da população que ali reside.

A análise dos episódios de poluição atmosférica mais críticos seleccionados no estudo permitiu verificar que, os poluentes por eles responsáveis possuem proveniências diferentes, com contribuição de várias fontes. Apesar da grande influência que as

emissões com origem local — libertadas pelo complexo industrial, tráfego, etc. —, em conjunto com condições sinópticas e de mesoescala, têm na ocorrência de episódios de poluição atmosférica, também se verifica o contributo do transporte de poluentes, quer à escala local e urbana, quer à escala regional. Na análise de um episódio em particular dos poluentes PM₁₀ e O₃, verificou-se ter havido o contributo de causas naturais para a ocorrência de concentrações elevadas, nomeadamente a influência das poeiras do deserto do Sahara e de um incêndio florestal ocorrido próximo de Estarreja. A existência de transporte de O₃ ou dos seus precursores também foi verificado num dos episódios, tendo como possível proveniência o litoral norte.

Numa filosofia geral de actuação na fonte, foram sugeridas algumas medidas que, de acordo com planos de melhoria já implementados em Portugal (do Norte e o de Lisboa a Vale do Tejo), poderão contribuir para uma diminuição das emissões dos poluentes mais críticos, ou seja, as PM₁₀, o SO₂ e os precursores de O₃. As propostas de actuação abrangeram três sectores principais, sendo eles: o industrial (com maior relevância nesta zona), os transportes e o doméstico.

No sector industrial, objectivando a eliminação das excedências aos parâmetros legais estabelecidos para as PM₁₀ e SO₂ e O₃, foram apontadas, entre outras, as seguintes medidas: melhorias nos sistemas de despoeiramento das fontes industriais (por exemplo através da substituição dos ciclones — menos eficientes na remoção de PM₁₀ — por filtros de mangas ou precipitadores electrostáticos); criação de normas de emissão para aglomerados industriais próximo dos centros urbanos.

Em relação ao sector dos transportes, foi sugerida como uma das medidas a diminuição da percentagem de veículos pesados de mercadorias em circulação, através da utilização de veículos ligeiros de mercadorias nos percursos dentro da cidade.

Relativamente ao sector doméstico e tendo em conta o contributo deste para as emissões de PM₁₀ foi indicada a redução destas através da substituição das lareiras por outros sistemas de aquecimento menos poluentes.

Para uma melhor compreensão dos fenómenos de poluição atmosférica surgidos em Estarreja, sugere-se, como desenvolvimento de um trabalho futuro, um estudo mais

aprofundado dos episódios ocorridos com recurso a ferramentas de modelação mais precisas — como por exemplo, os modelos numéricos determinísticos que consideram na sua simulação quer as condições meteorológicas, quer as emissões — que permitam avaliar a origem dos episódios de forma mais consistente.

Torna-se também necessária, para continuação deste trabalho, o desenvolvimento e avaliação de cenários de redução propostos neste estudo utilizando a modelação como instrumento de trabalho.

Referências Bibliográficas

- APA 2008a. *Evolução da qualidade do ar em Portugal entre 2001 e 2005*, Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA 2008b. *Relatório do estado do ambiente, 2007*, Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA 2009. *Relatório do estado do ambiente, 2008*, Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA 2010. *Emissões de poluentes atmosféricos por concelho, 2008 : Gases acidificantes e eutrofizantes, precursores de ozono, partículas, metais pesados e gases com efeito de estufa*, Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente.
- BORREGO, C., MIRANDA, A., COUTINHO, M., FERREIRA, J. & CARVALHO, A. 2002. Air quality management in Portugal: example of needs and available tools. *Environmental Pollution*, 120, 115-123.
- BORREGO, C. & MIRANDA, A. I. 2008. *Avaliação da Qualidade do Ar da Região Norte : uma perspectiva historica, 2000 - 2007*, Porto, Universidade de Aveiro, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da região Norte
- BORREGO, C., MIRANDA, A. I., COELHO, C., ALVES, F. L., LEÃO, F., MARTINS, F., MEIRELES, F., MARTINS, H., ARROJA, L., SILVA, J. V., COUTINHO, M., MATA, P., PINHO, R. & FIDÉLIS, T. 2008. *Quadro de Referencia Ambiental - Relatório de Fundamentação Técnica*, Coimbra, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional Centro.
- BORREGO, C., MIRANDA, A. I., MARTINS, H., FERREIRA, J., SOUSA, S., CALADO, D. & SÁ, M. E. 2007. *Plano de melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte 2004-2005*, Universidade de Aveiro /Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional – Norte.

- BORREGO, C., MIRANDA, A. I., MONTEIRO, A., MARTINS, H., FERREIRA, J., LILIANA SALMIM, SOFIA SOUSA, COUTINHO, M. & COUTINHO, M. 2006. *Planos e Programas de acção para a melhoria da qualidade do ar na Região Norte 2001-2003*, Universidade de Aveiro /Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional – Norte.
- BORREGO, C. & MONTEIRO, A. 2008. A qualidade do ar: da macroscale à microscale. *In: CIÊNCIA E NATUREZA ESPECIAL*, U. (ed.) V *Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*.
- CARVALHO, A., MONTEIRO, A., RIBEIRO, I., TCHEPEL, O., MIRANDA, A., BORREGO, C., SAAVEDRA, S., SOUTO, J. & CASARES, J. 2010. High ozone levels in the northeast of Portugal: Analysis and characterization. *Atmospheric Environment*, 44, 1020-1031.
- CE 2005. Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu: Estratégia temática sobre a poluição atmosférica. Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias.
- DRAXLER, R. R. & ROLPH, G. D. 2011. *HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)* [Online]. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. Disponível em: (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) [Acedido em: Março 2011].
- EEA 2007. *Air pollution in Europe 1990–2004*, Copenhagen, European Environment Agency.
- EEA 2010a. *Impact of selected policy measures on Europe's air quality*, Copenhagen, EEA.
- EEA 2010b. Portugal air pollutant emissions country factsheet. Copenhagen: European Environment Agency.
- FERREIRA, F., NOGUEIRA, L., ALMEIDA, C., TENTE, H., MARTINS, A., MONJARDINO, J., NETO, J., FRANCO, N., PEREIRA, P., GOMES, P. & MESQUITA, S. 2006. Planos e

Programas para a melhoria da qualidade do ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo.
Lisboa: DCEA-FCT/UNL; CCDR-LVT.

FERREIRA, J., SÁ, M. E., HELENA MARTINS, ALEXANDRA MONTEIRO, RICHARD TAVARES, ISABEL RIBEIRO, ANABELA CARVALHO, ANA ISABEL MIRANDA & BORREGO, C. 2009. Relação Qualidade do Ar e Exposição de longo prazo da população a Poluentes Atmosféricos. *X Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*.

FIGUEIREDO, C. & SOUSA, S. 2010. *Avaliação da Qualidade do Ar na Região Norte em 2008*, Porto, CCDR-N.

FLAGAN, R. C. & SEINFELD, J. H. 1988. *Fundamentals of air pollution engineering*, New Jersey, PRENTICE HALL.

HARROP, O. 2002. *Air quality assessment and management: a practical guide*, New York, Spon Press.

ICN 2002. *Plano de Ordenamento da Reserva Natural das Dunas de S. Jacinto - Relatório Síntese - Caracterização*, Coimbra ICN.

INE 2010. *Anuário Estatístico da Região Centro - 2009*, Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.

LAMEIRAS, H. 2009a. *Relatório da qualidade do ar na região centro : 2008*, Coimbra, CCDR-C.

LAMEIRAS, H. 2009b. *Situação da Qualidade do Ar na Região Centro*.

LARSEN, S., ADAMS, M. L., BARRETT, K. J., BOLSCHER, M. V., LEEUW, F. D. & PULLES, T. 2004. *Air pollution in Europe : 1990-2000*, Copenhagen, European Environment Agency.

LEVINE, J. S. 1998. Gaseous and particulate emissions released to the atmosphere from vegetation fires. *Health Guidelines for Vegetation Fire Events*, 6, p. 284-308.

LIU, D. & LIPTÁK, B. 2000. *Air pollution*, Florida, Lewis Publishers.

- LOPES, M. A. N. 2004. *Alterações Climáticas: Avaliação Económica no Apoio à Decisão Política*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Universidade de Aveiro.
- MAOTDR & IA 2006. *Estratégia Temática Sobre Poluição Atmosférica*. Instituto do Ambiente ed. Amadora: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional / Instituto do Ambiente.
- MARTINS, V., MIRANDA, A. I., CARVALHO, A., SCHAAP, M. & BORREGO, C. 2009. Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar em Portugal no Período 2003-2005. *Silva Lus*, 17, 219-239.
- MIRANDA, A. I., MONTEIRO, A., MARTINS, V., CARVALHO, A. & BORREGO, C. Year. The 2003 fire season in Portugal: impacts on air quality. *In*, 2007.
- MONTEIRO, A. 2007. *Desenvolvimento de um sistema de avaliação e previsão da qualidade do ar para Portugal*. Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Universidade de Aveiro.
- MONTEIRO, A., BORREGO, C., TCHEPEL, O., SANTOS, P. & MIRANDA, A. 2001. Inventário de emissões atmosféricas - base de dados POLAR 2. Aplicação à modelação atmosférica. *7ª Conferência Nacional Sobre a Qualidade de Ambiente*. Aveiro, Portugal.
- MONTEIRO, A., MIRANDA, A., BORREGO, C. & VAUTARD, R. 2007. Air quality assessment for Portugal. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 373, 22-31.
- MONTEIRO, A., STRUNK, A., CARVALHO, A., TCHEPEL, O., MIRANDA, A. I., BORREGO, C., SAAVEDRA, S., RODRÍGUEZ, A., SOUTO, J., CASARES, J. & ELBERN, H. 2010. Investigating a high ozone episode in a rural mountain site (north of Portugal). *Submetido à Atmospheric Physics and Chemistry*.
- OKE, T. R. 1987. *Boundary layer climates*, Routledge.

- REID, N., MISRA, P. K., AMMAN, M. & HALES, J. 2007. Air quality modelling for policy development. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A*, 70 (3-4), p. 295-310.
- RIBEIRO, I. L. 2008. *Análise da previsão da qualidade do ar em Portugal Continental durante 2007-2008*.
- SALMIM, L. I. F. 2005. *Avaliação da Qualidade do Ar: aplicação a cenários de emissões*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, Universidade de Aveiro.
- SMPC. 2006. *Plano Municipal de Emergência de Estarreja* [Online]. Estarreja: Câmara Municipal de Estarreja. Disponível em: http://www.cm-estarreja.pt/main/pdf/pmee_secur-ria_versao_online2006.pdf [Acedido em: 14 de Dezembro de 2010].
- TIWARY, A., COLLS, J. & EBRARY, I. 2010. *Air pollution: measurement, modelling and mitigation*, Third edition, Oxon, Routledge.
- VALLERO, D. A. 2008. *Fundamentals of air pollution*, 4th Edition, North Carolina, Elsevier.
- WHO 2006. *Air Quality Guidelines -Global Update 2005*, Copenhagen, World Health Organization: Regional Office for Europe.

Páginas de Internet consultadas entre Outubro de 2010 e Maio de 2011

URL 1: www.qualar.org

URL 2: www.apambiente.pt

URL 3: <http://terrasdeportugal.wikidot.com/estarreja>

URL 4: www.cm-estarreja.pt

URL 5: <http://viajar.clix.pt>

URL 6: www.algodres.com/01/01.6.2/mapacomboios.htm

URL 7: <http://www.zoover.com.br/portugal/beiras/estarreja/tempo>

URL 8: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsgfsmeur.html>

URL 9: http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php

URL 10: <http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/>

URL 11: http://toms.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols_v8.html

URL 12: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas/estatistica-2013-dados-sobre-incendios-florestais>

ANEXOS

ANEXO A - SELECÇÃO DOS EPISÓDIOS

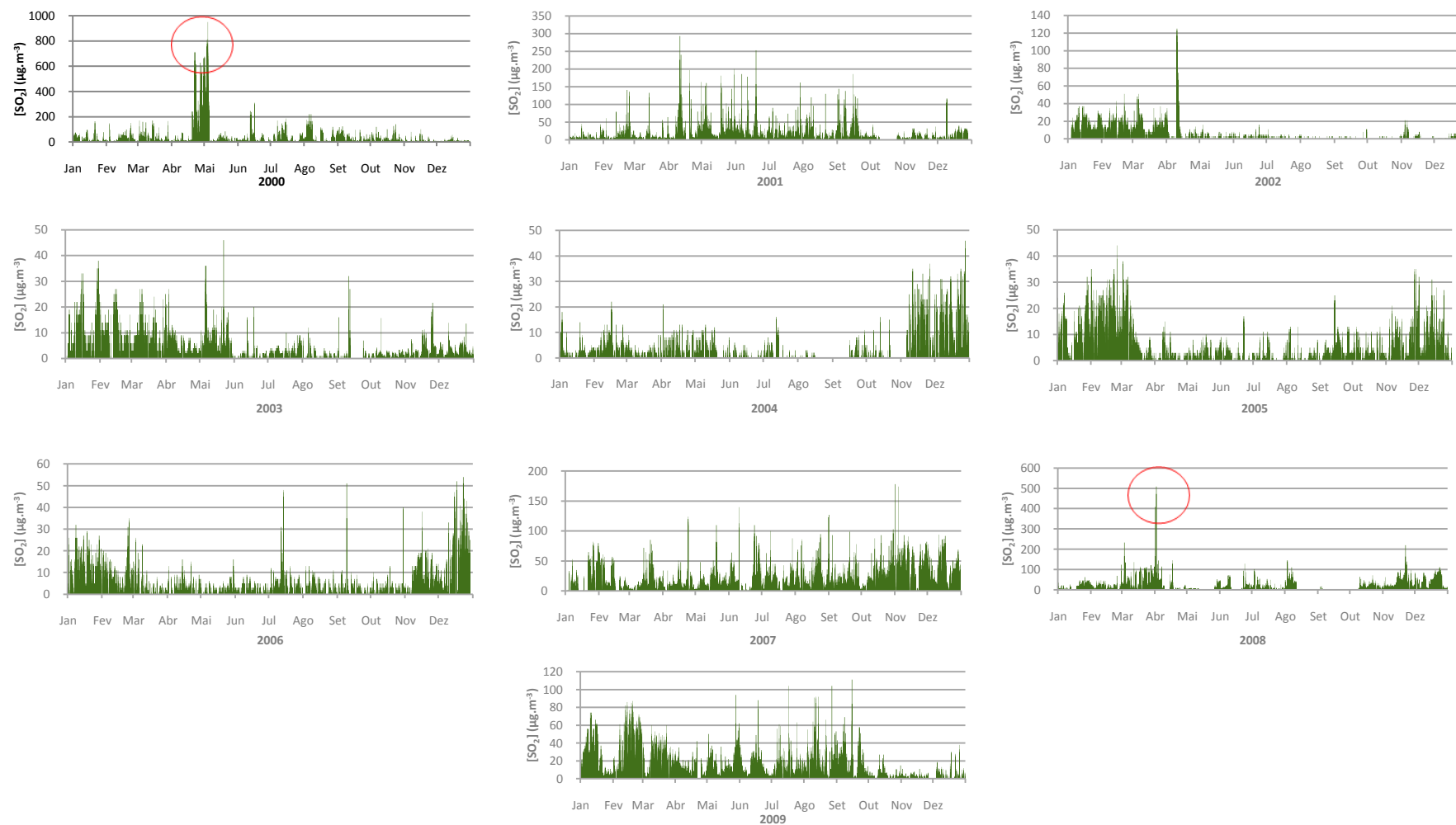


Figura A.2 – Concentrações horárias de SO_2 nos anos de 2002-2009 e identificação dos episódios seleccionados

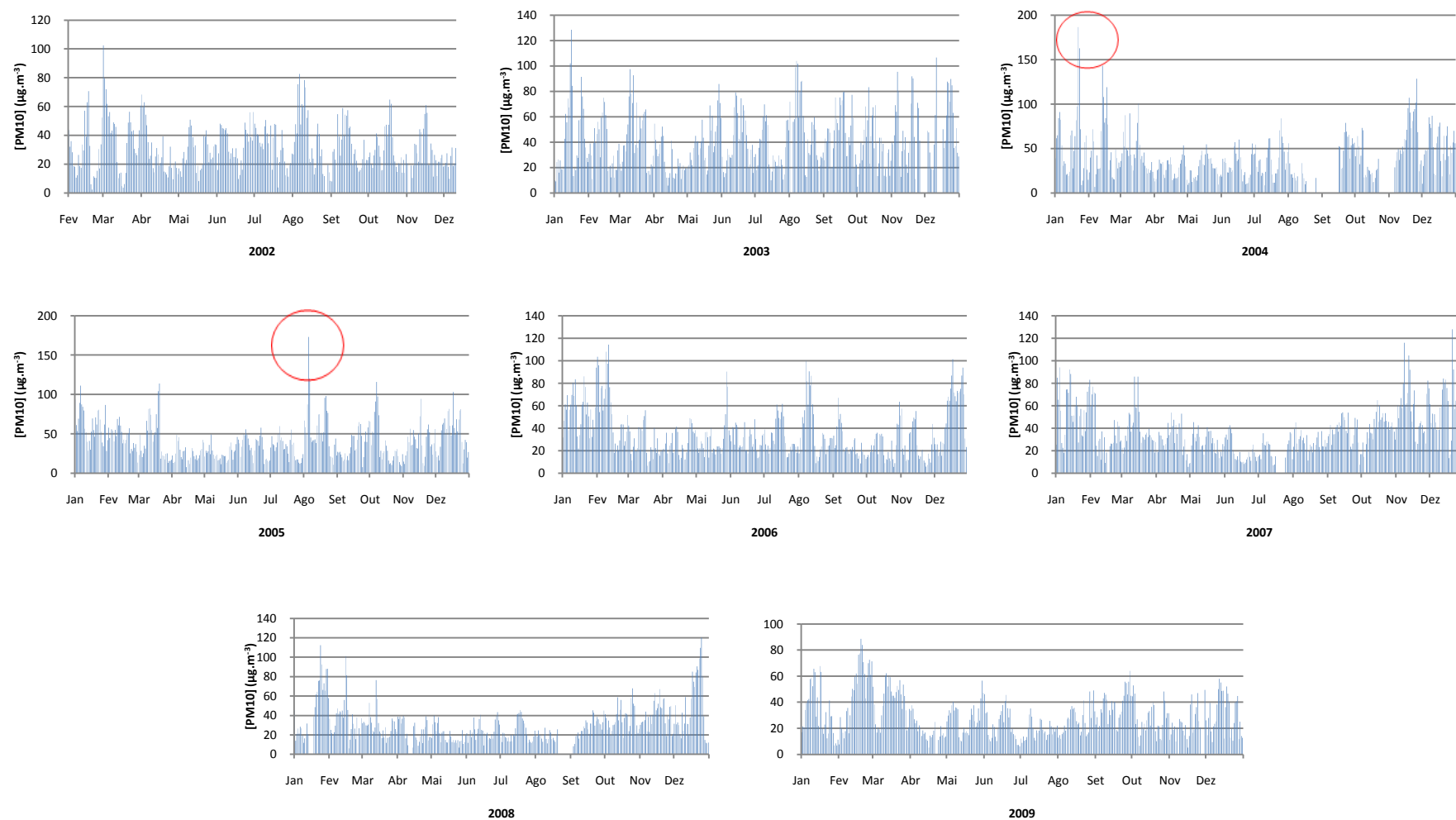


Figura A.2 – Concentrações diárias de PM10 nos anos de 2002-2009 e identificação dos episódios seleccionados

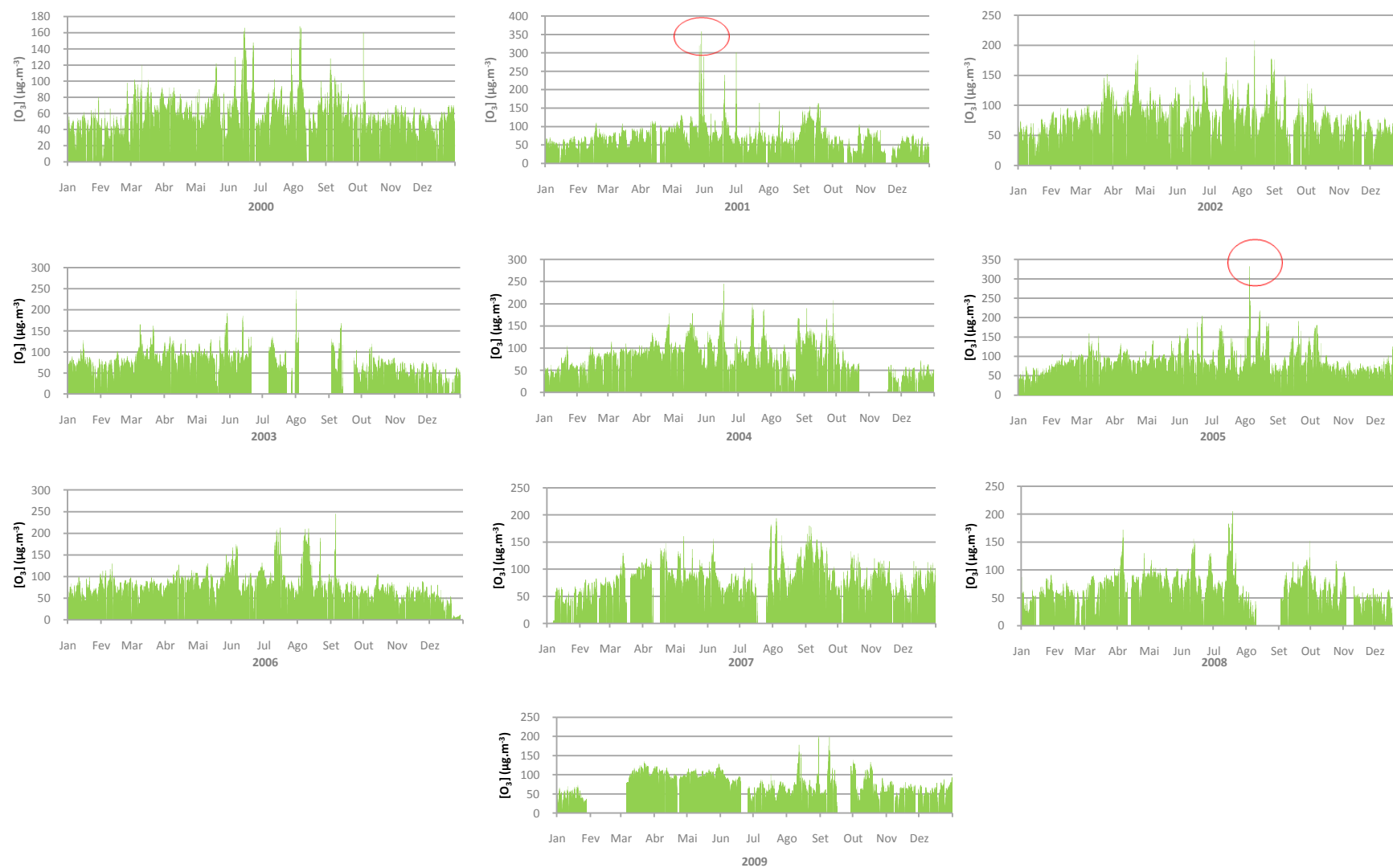


Figura A.3 – Concentrações horárias de O_3 nos anos de 2000-2009 e identificação dos episódios seleccionados

ANEXO B – COMPARAÇÃO DOS DADOS DA TEIXUGUEIRA COM AVANCA DURANTE OS EPISÓDIOS

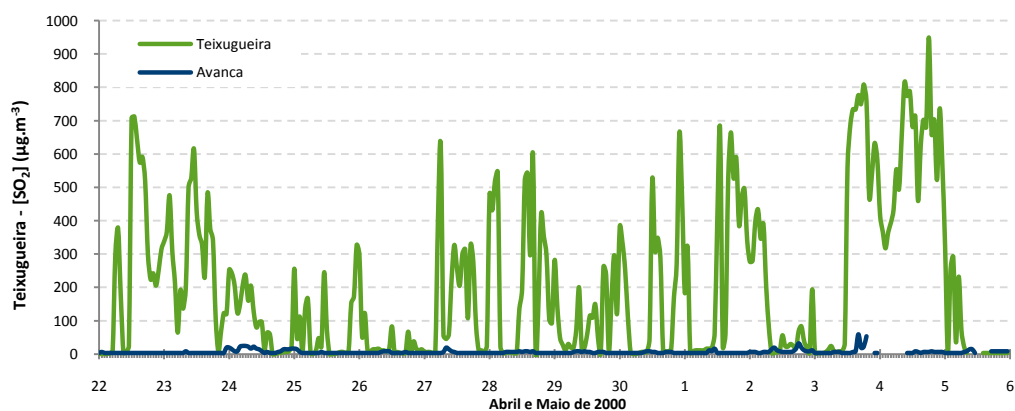


Figura B.1 – Concentrações de SO_2 registadas nas estações de qualidade do ar da Teixeira e de Avanca durante o episódio 1

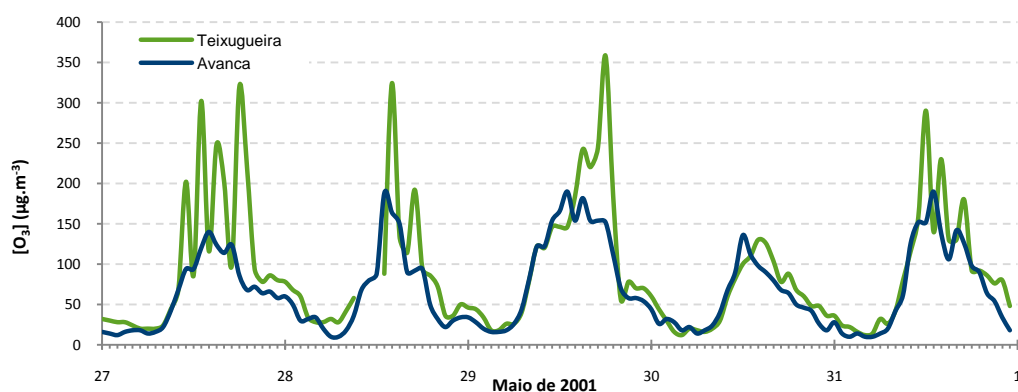


Figura B.2 – Concentrações de O_3 registadas nas estações de qualidade do ar da Teixeira e de Avanca durante o episódio 5

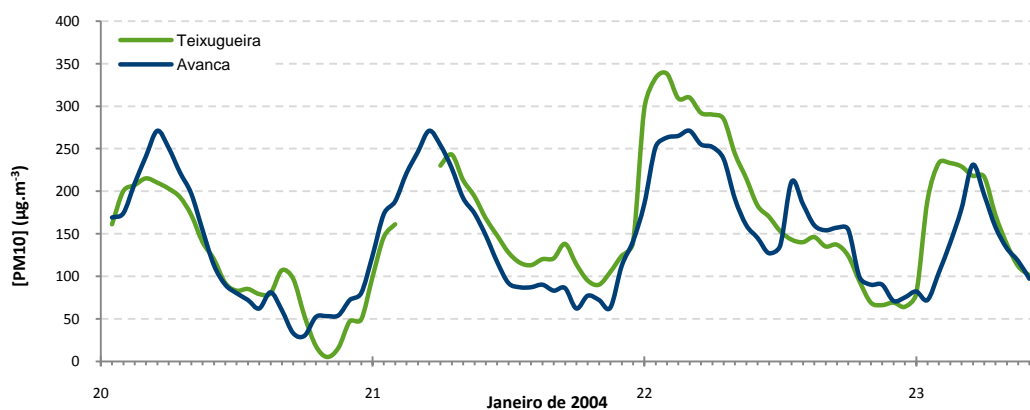


Figura B.3 – Concentrações de PM_{10} registadas nas estações de qualidade do ar da Teixeira e de Avanca durante o episódio 3